

寻觅宇宙的源头

主编　张金方　邓先明　●　编写　邓先明

中国建材工业出版社

TIAN WEN AI HAO ZHE CONG SHU

责任编辑：王苏娅
封面设计：郭　媛



策划：北京汉洲文化艺术有限责任公司



ISBN 7-80090-816-X/G·144
（共12册）总定价：70.00元

天文爱好者丛书⑩

寻觅宇宙的源头

编写　邓先明

中国建材工业出版社

目　录

天文学简史

宇宙溯源

透视宇宙的第三只眼

天文学的诞生

谈到天文学，往往给人的印象是高深莫测，与生产和生活无关，似乎只是少数人在那里高谈阔论而已。其实，这是对天文学的误解。在人类文明社会里，天文学有着悠久的历史，它是为适应人类生产和生活的需要而产生并发展起来的。恩格斯指出："必须研究自然科学各个部门的顺序的发展。首先是天文学——游牧民族和农业民族为了定季节，就已经绝对需要它。"

我们可以从人类对自然演史的认识看天文学的作用。

当代科学家对自然界有了一个共同的认识，那就是自然界是经历了

一个漫长的演化过程，并且这个演化仍然在继续进行。人们必须找出并描述清楚这个演化历程中的各个环节。那么，这个自然演化史的时空顺序是怎样的呢？人类对这个演化史的认识，如何呢？从宏观认识来说，基本上可归纳为这样几个阶段：宇宙⇌星系⇌恒星⇌太阳系⇌地球⇌生命⇌人类文明社会。上面上箭头表示自然界的演化史，下面的箭头表示人类的认识史。我想，从这个粗线条的描述可以看出，天文学在人类对自然演化史的认识中起到多么重要的作用，天文学在人类文明史中取得了多么辉煌的成果。这不仅在科学上，也在哲学和精神文明上都有重要的意义。

天文学的发展

从历史看，天文学有它古老的经历；从内容看，天文学又有它生机勃勃年轻的内涵。天文学研究的对象是宇宙广阔的空间和天体。这就决定了天文学研究的方法与其他自然科学的区别。它不可能像地学研究那样化验分析太阳物质，也不可能如生物学那样培养、移植星星，只能通过对距离遥远的空间来观测，而观测到的天体光线却十分微弱。这就是说，天文研究的方

法（陨石和从月亮上取回的岩石除外）主要靠观测业已发生的天象，这均是被动性的观测研究。天文观测是天文学研究的主要手段。因此天文观测手段的发明和发展，在很大程度上决定了天文学的进展。随着整个近代科学技术的全面发展，天文学也得到欣欣向荣的全面发展。

天文学属于自然科学基础理论的数理学科。天文学的发展一方面要借助于有关学科的成果，同时天文学的发展又大大促进了有关学科的发展。它们互相渗透，互相依存，互相促进，这是当代科学技术发展的特点。

在天文学悠久的历史中，概括起来主要经历了三次革命性的大发展。其一，从1543年哥白尼建立了日心说到牛顿发现万有引力定律。这使人类从古代仅仅是认识天象、定时间、制历法和判别方向，发展到认识天体和天体系统的结构、天体运动的规律和运动的动力，从而诞生了天体力学，这是近代科学的开端，也是人类把太空作为实验基础的巨大进步。应该说，天文学这场革命不仅在一定程度上扭转了天文学研究方面的被动局面，同时对人类整个认识论也产生了深远的影响，从此，自然便开始从神学中解放出来，这是一个需要巨人而又产生了巨人的

时代。其二，随着19世纪中叶物理学的发展，人们渴望了解，并着手探测天体的物理性质、化学元素组成、运动状态和演化规律等。这与19世纪后半期诞生的三项物理方法是分不开的。它们是分光学、光度学和照相技术。从而诞生了揭示天体物理物质的天体物理学。天体物理学的诞生标志着现代天文学的起点，使人类能精确地描绘天体宇宙，认识宇宙和天体的发展。这是天文学中第二次大飞跃。其三，20世纪50年代末，人造地球卫星发射成功，开辟了人类探测宇宙的新纪元。空间探测技术又给天文学带来惊人的发展。发射人造地球卫星、空间望远镜、宇航员飞登月球、探测器在火星着陆、环绕太阳极区飞行和飞出太阳系等等便是这些惊人发展的标志。空间探测所获得的天体物理信息，大大超过过去几千年天体信息知识的总和。现在对天体发出的各种波段的电磁波辐射都能进行观测，进入到全波段天文观测的新时代。这就是当代天文学的特色。在这样的时代背景下，当代天文学作为自然科学六大基础理论（数、理、化、天、地、生）之一，正以日新月异的观测成果与其他学科相结合，成为最富有生命力的多学科交会的科学领域。

每个时代对宇宙的认识成果，都具有鲜明的历史特色。当代天文学已形成自己完整的体系。若以研究方法分，有天体测量学、天体力学和天体物理学；若以观测手段分，天文学包括光学天文学、射电天文学和空间天文学；若以研究对象的空间尺度来分，则有太阳系、太阳、恒星、银河系、星系和宇宙学。另外还有研究天体史的天体演化学。当然，上述这些分支，每一个又包含许多方面。你看，古老的天文学已经在当代形成了完整的家族。为了加深对当代天文学的了解，就要了解当代天体物理学。

当代天文学中最活跃的领域就是天体物理学。它是用物理学的理论、方法和技术来研究天体的特征。因此，天体物理学也是物理学发展的一个分支。天体物理学又包括：太阳物理学、太阳系物理学、行星物理学、恒星物理学、星系天文学、宇宙化学、宇宙学、天体演化学和理论天体物理学等。理论天体物理学是以理论物理学的方法来研究天体的物理性质。近 30 年来，在这个领域又形成相对论天体物理、高能天体物理和等离子体天体物理等分支。理论天体物理的基本方法是把地球上实验室范围发现的规律应用到研究天体和宇宙中来。这就不仅说明天

体业已发生的现象，还可以预见尚未观测到的天体现象，使天文学的研究向更高层次跨进了一大步。这正是人类认识宇宙将要产生第四次革命的前奏。

下面举例说明天文学理论研究的预见性。

1932 年发现中子不久，前苏联理论物理学家朗道就提出，宇宙中可能有由中子组成的密度极高的恒星。1939 年，美国理论物理学家、第一批原子弹研制的主要技术负责人奥本海默，通过计算建立了第一个中子星的模型。到底有没有中子星呢？当时还只是理论上的纸上谈兵。天文观测一直关注着这个问题，但是未找到中子星。几十年过去了，1967 年英国剑桥大学射电天文学家休伊什和贝尔发现了脉冲星。这样，天文学家确认脉冲星就是高速自转、有强磁场的中子星。终于证实了理论上预言的中子星。这是当代天文学中的杰出成就，被列为 20 世纪 60 年代“四大发现”之一。荣获了 1974 年诺贝尔物理学奖。

牛顿的万有引力理论在天文学中得到了广泛的应用和验证，取得了辉煌的成果。1859 年，法国天文学家勒威耶发现水星绕太阳运动的轨道近日点存在反常的进动。其观测值比用牛顿

力学计算的值每百年快38″。1882年，美国天文学家纽康精确测出这个值为每百年43.11″。这是为什么呢？19世纪一些天文学家试图从牛顿力学理论给予解释，但均未成功，成为天文学中之谜。1915年，著名物理学家爱因斯坦创建了《广义相对论》理论。根据《广义相对论》计算出水星近日点的反常进动值为43.03″，这与纽康精确到的值十分接近。后来，金星和地球等行星的近日点反常进动值也测出，并与《广义相对论》理论计算值相一致。《广义相对论》就是关于引力相互作用的理论，在天文现象中，引力作用往往占主导地位。这就在天文学中验证了《广义相对论》理论的正确性。

按照《广义相对性》理论，可见光或其他波段的电磁波穿过引力场时会发生弯曲，这叫光线偏转。爱因斯坦指出，当遥远的恒星发出的光线从太阳边缘达到地球时，太阳引力将使该恒星光线偏转1.75″。他请天文学家们在日全食的时候验证这个理论。你知道为什么要在日全食的时候验证吗？因为只有在日全食的时候才能拍到日面边缘附近的恒星，才能将这样的恒星天区和平时拍摄的同样恒星天区相比较，测出恒星光线偏转的数值。这项大胆的预言能否

验证成功呢？1919年5月29日恰逢一次日全食，这次日全食带横跨大西洋东西两岸。全食时间最长达5分钟。应该说是一次难得的验证机会。第一次世界大战刚结束，一位最深刻理解相对论的天文学家、英国剑桥大学天文学教授兼剑桥大学天文台台长的爱丁顿，提出观测1919年5月29日日全食以验证爱因斯坦的理论。他以自己的科学热情和在学术界的影响，得到英国皇家天文学会的支持。为了确保日食观测成功，爱丁顿组建了两支远征考察队。一队赴南美洲巴西的索布腊尔，由克伦麦林率领。另一队赴西非的普林西比岛，由爱丁顿亲自率领。爱丁顿在筹备工作中已注意到日全食时的恒星背景天空中，日面正位于金牛星座中的毕星团附近，有较明亮的恒星，便于拍照和认证。两地观测均获得成功。普林西比队拍摄了16张照片，其中有一张照片有五颗恒星成像。以此求出恒星光线偏转值为1.61″±0.30″。巴西队拍摄的有7张理想的照片，其中有12颗恒星成像极佳，以此求出恒星光线偏转值为1.98″±0.12″，两队观测值都与爱因斯坦预见的值1.75″符合得好。应该说，通过这次科学验证，证明了爱因斯坦的理论确实高超；同时天文学家们作出的科学验

证也同样高超，这确实是一次理论指导实践的伟大科学成就。广义相对论对水星近日点反常进动给予正确的说明，这显示了它比牛顿力学更高明，是极大的成功。但是，水星近日点反常进动问题的提出却不是广义相对论。而“光线偏转”从问题的提出，到偏转值的预报和观测验证方法全过程都是爱因斯坦提出的，当两支观测队公布了验证结果以后，轰动了全世界，爱因斯坦享誉全球。这是当代天文学和物理学的一大杰出成就。当爱因斯坦得知验证成功的消息时，40 岁的爱因斯坦十分平静地说：“我知道这个理论是正确的。”

上述几例故事表明，理论研究对天文观测有重要的指导意义，今天人类的智慧已发展到把广袤的宇宙空间作为实验探索对象的新阶段。天文学正面临着时代的挑战。

天文学的应用

人类需要准确的时间。

早在原始社会，人们在劳动和生活过程中，头脑里逐渐产生了周期性的简单的数的概念，从传说中的“结绳记日”和“刻木记日”起，就有了日的概念，我国远在夏代（约公元前 21 世

纪至公元前 16 世纪）就创立了立杆测影的方法，用来判别方向、测定时间和定一年四季。这种最原始的天文仪器就叫圭。我国古代自西汉起就用 12 个时辰计时，12 个时辰也含有 24 小时的意义。当然，现在没有人再沿用这个计时的方法了。

不知你有没有想过："假如我们今天的社会突然失去了统一的标准时间，那将会产生怎样的混乱后果呢？这种纯属臆造的问题，也许从一个侧面让我们认识到统一的标准时间是多么的重要！为此，每个独立的国家或地区都必须有自己统一的时间计量系统。19 世纪中叶，欧美一些国家相继采用全国统一的时间标准，大多以本国首都或重要商埠的地理经度为标准时间。例如，英国于 1804 年采用格林尼治时间为全国统一的时间。法国采用巴黎时间，美国采用华盛顿时间等。到 19 世纪末叶，由于国际贸易交往的频繁，铁路交通、航空和航海业的迅速发展，只有本国统一的时间标准还不够，还必须有国际统一时间标准。1879 年，加拿大铁路工程师弗列明提出一个统一计量时间的区时系统。1884 年，在美国华盛顿召开国际子午线会议决定，采取以英国格林尼治天文台（旧址）埃里中

星仪所在的子午线，作为标准时间和经度计量的起算子午线，叫本初子午线。

区时是怎样划分的呢？所谓区时，就是沿地理经度划分24个区间，按区计时。我们知道，地理经度是从本初子午线算起。向东西分别计量，从0°—180°。本初子午线以东叫东经，以西叫西经。以本初子午线为标准线，把向东西各7度半（共包括经度15°）的区间定为零时区。叫格林尼治时间。这样，从东经7度半至22度半为东一区；从西经7度半至22度半为西一区。依次排下去。东12区和西12区重合。全球共分为24个时区。每个时区内都把中央子午线，即以地理经度0°、东西经15°、东西经30°、……为中央子午线时间称为区时。这样划分的结果是：在每个时区内的区时和地方时之差不会大于30分钟。相邻的时区时间都差一个小时。由于地球从西往东自转、东边地区总比西边地区早见到日出。，因此可以推知，东一区的时间比零时区早一小时，东二区比东一区早一小时，……而西一区则比零时区又晚一小时，……零时区的区时也叫世界时。

当然，实际划分时区也并不完全以地球经度为标准，各国都要考虑自己的行政区域和自

然界线。现在，世界上大部分国家都采用以时区为标准的时间计量体系。有些国家在自己的领域内采用几个时区的时间，例如，美国和加拿大等。有些国家据根自己的需要和传统采用标准时间，如印度、伊朗和阿富汗等。由此可见，在现代社会交往中，国家内部和国际交往都要有统一而方便的时间体系。

我国幅员辽阔，从东经约 73°至东经 135°，横跨东五区、东六区、东七区、东八区和东九区，共有五个时区。解放后，全国统一采用首都北京所在时区的区时为标准时间，这就是我们都熟悉的“北京时间”。所谓北京时间，就是以东经 120°经线为准的地方平太阳时，即东八区的区时。可见，北京时间并不是北京当地的时间。北京的地理经度是东经 116°21′25″。根据 360°—24 小时，两者换算成时间差即为：120°−116°21′25″=3°38′35″。经换算为 14 分钟 34 秒。也就是说，北京地方时比“北京时间”要晚 14 分钟 34 秒。北京时间比格林尼治时间（世界时）早 8 个小时。即北京时间=世界时+8 小时。

时间是连续的，并且具有均匀的流程。过去、现在和将来都一样。这样，以一种均匀的周

期运动便可作为计时的基准，以此来表达事物先后变化快慢的时序。人类发现可以利用日月星辰有规律的东升西落的运动或节律，来粗略地帮助计时。这就导致了计时器的诞生和发展。比如，滴水、人体的脉搏跳动、雄鸡啼鸣、花开花落、流沙和燃香等等。圭表和日晷都是人类发明的最古老的天文计时仪器，可以把它们称为太阳钟。1665年，荷兰物理学家惠更斯制成第一架摆钟，这是计时器发展史上一个里程碑。1676年，英国人丹索·勒康制成的怀表上有了时针和分针。1760年，机械钟上有了秒针。1924年，研制出最精确的邵特天文摆钟，成为授时的母钟。20世纪20年代末发明了石英钟，50年代又发明了原子钟，使天文测时转向物理时间，这是人类计时史上划时代的革命。

说到这里，如果有人问你："准确时刻是怎样来的？"或许你会毫不犹豫地回答：从广播电台播出的时号得来的。如果再问："广播电台的准确时号又是怎样来的？"简单的说，广播电台只是播出民用时号，时号准确到1/10″，它的准确精度还是靠天文台提供修正的。每个国家都有自己的时间服务机构。我国的时间服务机构是陕西天文台，它每日24小时向全国和全世界

播发时号，其授时精确度优于0.1微秒。随着科学技术的飞速发展，对时间服务工作要求越来越高，不仅要求的精度高，而且要求的方面广。比如，勘测资源、划定国界、大地测量、远洋航行、远程飞行、导弹和人造天体发射与跟踪、编制星表、标准频率的测定、研究原子内部结构、理论物理学中相对论的验证等等，都要有高精确度的时间参数。总之，社会生产和生活的各个方面都时刻享受着时间服务。

人人都离不开天文历法。

天文历法中的日、月、年的概念和整个人类文明社会紧密地联系在一起。历法就是根据地球自转、地球绕太阳公转和月球绕地球运动等天文现象变化的规律，安排日、月、年和节气的法则。这些法则的根本问题是要符合天象，符合人们的生活习惯，因此，我们说天文历法是严格的。

历法的渊源可以追溯到人类的早期历史。我们祖先早在新石器时代，已能根据正午太阳高度的变化，测出一年的长度；并逐渐认识到太阳在众恒星背景中也是周而复始、万古奔波的。这就是天文历法的渊源。我们古籍《尚书·尧》中就有关于夏代以前，帝尧的天文官用星象定

四季的记载。其中载有："日中星鸟，以殷促春"；"日永星火，以正促夏"；宵中星虚，以殷促秋""日短星昴，以正促冬。"意思就是说，当人们在黄昏时的南方天空看到"鸟"、"火"、"虚"、"昴"这些星时，正是春季、夏季、秋季和冬季的中间月份。《尚书·尧》中还有："期三百有六旬有六日"。意思就是一年有366天。可见，我国远在4000年前就已有了非常精确的历法常识。

日、月、年是历法中的三个计量单位，也是代表三种天文现象的特征。日复一日，月月一样，年年如此。日，这是历法中最基本的单位，以地球自转形成昼夜交替为依据。一般以太阳、恒星或天球上某一假想点作为计量天球周日视运动的起点。因此，在天文学中就有不同"日"的单位。如恒星日、真太阳日和平太阳日。一般说来，月作为历法计量单位，可以分两种情况：一种是像公历那样，将历年长度人为地分为12个时段，即12个月。月的长度分为28（或29)、30、31个平太阳日。另一种月是以月亮绕地球运动为基础的时间计量单位。在历法中用的是朔望月。也就是月亮圆缺的变化周期。这个周期平均长为29.53059日，也就是29日12时44

分 3 秒。年是历法中最重要的时间单位。天文学中的也有好多种，历法中有的是回归年，它以地球绕太阳运动的周期为计量的基础。回归年的平均长为 365．2422 个平太阳日，也就是 365 日 5 时 48 分 46 秒。由此可见，朔望月和回归年虽然都是制历的基础，而实际生活又不能完全按朔望月和回归年的长度安排日。因为它们都不是日的整数倍。调解这种关系是制历的任务。

古今中外历法的名目甚多。大体上可以归纳为三种：阴历、阳历和阴阳历。阴历，它的特点是月的平均日数要以朔望月为基础，也就是要符合月相的变化。一年为 12 个月，大月为 30 日，小月为 29 日。其中有 6 个大月，6 个小月，全年共 354 日。可是，一年 12 个朔望月共长为：29．53059 日×12＝354．3671 个平太阳日。这样，一年就比 12 个朔望月短 0．3671 日，3 年就短约一天。为此，每 3 年就设置一个闰年。凡闰年就在 12 月末加一日，一年为 355 日。阴历每年比回归年短约 11 日。因此阴历的最大缺点是与四季寒暑无关。显而易见，这种历法对生活和生产，特别是对农业生产极不方便。现在，世界上除了伊斯兰教国家由于宗教关系仍在使用阴历外，其他国家早已不再使用阴历了。阳历以

一个回归年长度为依据。现在世界上大多数国家有通用的公历，就是属于阳历。关于现行公历的演变说来话长。这里既包含了人们对天象观测精度的逐步提高和编制历法的理论和方法不断完善的历史性进步，又反映了统治阶级炫耀权术，为自己树碑立传、毫无科学道理的随心所欲。我们现在应用的公历是1585年，罗马教皇格里高利颁布执行的，因此，叫《格里历》。它是在《儒略历》基础上进行改革的历法，它纠正了《儒略历》在1257年中累积的10天误差，使天象与历法统一。同时重新设置置闰方法。将《儒略历》中每400年有100个闰年和300个平年，改为每400年中有97个闰年。消除了《儒略历》中400年多3天的误差。这样一来，《格里历》历年长为9365×（400＋97）÷400＝365．2425（日），比回归年仅长：365．2425－365．2422＝0．0003（日），约合26秒。400年中累积误差为0．12日。即2小时53分，约3320年差1日。如果我们的后代一直沿用这个历法，那么大约公元5000年时，他们就得修正它了。应该说，尽管《格里历》还有误差和月的日数不齐等不足之处，但是它历年长度的精度比较高，又有长时期的历史连续性的基础，因

此，逐渐被世界上绝大多数国家先后采用。我国于 1912 年采用公历，但是，当时不用公元作为纪元。新中国成立后，于 1949 年改用公元作为纪元，并普遍采用公历。阴阳历是我国人民传统的历法，具有悠久的历史。阴阳历的日、月、年都具有一定道理。它的月像阴历以朔望月为基础，完全符合月相。它的年平均长度像阳历一样，以回归年为标准，完全符合四季的交替。全年 12 个月，平均为 354 日或 355 日，比回归年长度短了约 11 日，3 年约差 33 日。为了使历年平均长度接近回归年，每 3 年要设置一个闰年，闰年加 1 个月，该年为 13 个月。我国古代早在公元前 600 年的春秋时代，就发现在 19 年阴历中加入 7 个闰月，就可以使阴阳历的历年平均长度更接近回归年。也就是说，在 19 年中应有 12 个平均年（每年有 12 个朔望月）和 7 年闰年（每年有 13 个朔望月）。

两者在 19 年中只差 0. 0069 日，约合 2 小时 5 分 8 秒。当然具体的置闰要根据实际天象结果来安排。这就是历法中很著名的 19 年 7 闰法。它把朔望月与回归年很好地协调起来，是具有很高精度的历法。我国比古希腊天文学家默冬发现这个周期要早 160 多年。

新中国成立后，中国科学院紫金山天文台一直担负着我国的历算工作，不仅编制供民用的历法，还编算《中国天文年历》、《天文测量简历》和《天文普及年历》等，供天文、大地测量、航海、航空和国防等方面应用。

宇宙溯源

古人看宇宙

晴朗的白天，耀眼的太阳从东方升起，慢慢地移过天空，往西方落下；到了晚上，一轮明月高悬，暗灰色的天空布满亮晶晶的星星，神秘地向人们眨眼。这深邃的天空和日月星辰究竟是什么？它们同我们人类所在的大地是什么关系？这一切又是怎样形成的呢？

远古时代的人们就在思考这些问题了。那时人们认识自然的能力很低，受科学技术发展水平的限制，他们只能凭借自己丰富的想象力，通过原始的学说、传说来说明自然，解释宇宙间隐藏着的无穷无尽的秘密。

开天辟地

传说在遥远的年代，天地还没有分开，宇宙是一片混沌，像一个大鸡蛋那样，盘古就在里面孕育成长。因为混沌中没有光亮的刺激，没有声音的骚扰，所以他在其中昏昏沉沉地睡了一万八千年。

后来盘古一觉醒来，睁开双眼，什么也看不见。他焦躁烦闷之极，终于在混浊中摸到了一把斧子，于是使劲抡将起来，猛劈几下，只听“轰”的一声巨响，混沌的蛋壳破裂了。

盘古毫不犹豫，连忙放下巨斧，用粗壮有力的双手托住圆壳并猛力上推。“轰隆隆！”“轰隆隆！”随着一连串的巨响，混沌蛋彻底分裂——原来清澈轻盈的东西缓缓上升，化作青天；原来浑浊沉重的东西慢慢下沉，凝成大地。

天地刚刚开辟，盘古还怕不够牢靠，于是又站起身来，顶天立地——手托蓝天，脚踩大地，结果是天每天往上升高 1 丈，地每天向下加厚 1 丈，而他自己也随着天的升高而每天长高 1 丈，这样又过了一万八千年，天地之间已经相隔 9 万里，可开天辟地的盘古依然毫不松懈地挺立在天地间。

但是英雄毕竟太累了，旷日持久的劳作耗

尽了他的精力，盘古终于支持不住倒了下来，幸而这时天地已经凝固，再也不会合拢到一起了。

盘古庞大的身躯虽然倒下，可他的精神不死，还要继续为开天辟地做贡献。他的两只眼睛飞上了天，一只化作太阳，一只变成月亮；他的四肢变成东西南北四极，从此大地有了方位；他的躯体变成三山五岳，血液化作江河湖泊，大地因此有了山脉河川。还有风云、雷电、星星、雨露、花草、树木、田地、金石等，也是由他死后躯体的各部分变来的。他和他所有的一切，都为后来人类的诞生和发展创造了条件。

盘古倒下后，几万年过去了，有一天有个女神——女娲到地上来玩，看到了地上花草树木、虫鱼鸟兽，什么都有，就是没有一个像她自己一样的生物。她感到孤独、无聊，于是就按照自己的样子，用黄泥做成了一个个泥娃，泥娃娃放在地上，得到了地上的灵气，一下子活了，变成了真人。接着，女娲又教会人类自己婚配，生儿育女，繁衍后代。她还帮助人类学会畜牧，学会耕种，通过自己的劳动创造幸福的生活。

但是好景不长，正当人类欣欣向荣之时，水神共工和火神祝融不知为了什么打起仗来。共工打败，一怒之下，撞倒了西北角上的擎天柱不

周山。擎天的柱子一倒，天就塌了下来，还砸出许多窟窿，天河里的水哗哗下泻，满地洪水滔滔，许多人葬身鱼腹；大地也强烈震动，赤热的岩浆从裂缝中涌出，吞噬了无数生命。

看到人类遭受如此深重的灾难，女娲心如刀绞。她先扑灭了地上的大火，又查明洪水的成因是天塌。为了解除人类的苦难，她决心把天补好，并使它恢复到原来的位置。

补天不能用普通的泥土和木头，要用五色石子来补，经过千辛万苦，女娲才采集到了足够的五色石子。接着她又砍来很多芦柴，围着石子堆成几座芦柴山，一切准备停当，这才开始“点火”。熊熊的大火烧了9天9夜，终于把红、黄、蓝、白、黑的五色石子烧化成了五色石浆，女娲拿起一把长柄勺子，不顾疲劳，冒着灼热，冲到火堆面前，舀起五色石浆，向西北天空的破窟窿里灌进去……

女娲终于成功了，补好的天同原来的天一模一样。五色石浆冷却时冒出的热气，丝丝缕缕，五彩斑斓，化成美丽的云霞，增添了天空的魅力。

天补好了，还要撑起来。可哪来这么粗大的柱子呢？一只硕大无比的千年大鳖来到女娲跟

前，咬断自己的四条大腿，献给了女娲。女娲感动万分，连忙把鳌的四腿安在大地的四方，把天撑起来。但因为鳌的四条腿不一样长，立在西北两面的腿稍短一些，天向西北微微倾斜，所以日月星辰每天总是由东向西滑走。

剩下的最后一件事是要把洪水填没，女娲决定用烧剩的大堆芦灰去填平洪水。她从西北出发向东南填去，开始填得很厚，后来芦灰越来越少，只好填得薄些，最后还剩下一个大坑，芦灰没有了，而且已经填平的陆地足够使用，也就不想再填了。这样，西北的地势就比东南高，水都向东南方向流去，流到那个大坑里，最后那个大坑变成了大海。

"浑""盖"之争

神话虽然美妙动听，但它终究不是事实，而且与事实风马牛不相及。因此，古人不会永远满足于神话传说，他们看到的事实和现象越多，就越会用自己的头脑来思考和认识世界。

比方说，当人们置身于原野，或攀登上山头，抬头看，顶上是一个圆穹形的蓝天，放眼望，脚下是一片一望无际的大地，他们于是就对这样一种自然表象加以简单的解释：天空是一个圆穹形的罩壳，像一只倒扣着的锅，覆盖在平坦

的大地上。这就是我们的祖先关于天地关系的最初解释——盖天说。

盖天说起源很早，大概可以追溯到殷周年代。约公元前11世纪，中国人就认为“天圆如张盖，地方如棋局”，即认为天地的结构是由一个半球形的天居临在一块方形的大地上。大地每边长81万里，正方形，包括9个洲，我国就是“九洲”之一的“赤县神州”。“九洲”之外是茫茫“大瀛海”，“大瀛海”与顶高8万里、四周下垂的天相连接。

为了解释日月运行和四季变化，盖天说认为平直的大地静止不动，日、月附着在天上，而天穹则绕着一个“极”自东向西旋转不止；太阳的出没和四季寒暑、昼夜长短的变化，是由所谓阴阳的消长而造成的。

圆穹形的天盖还有点表象观测的依据，可每边81万里的方形大地却根本无从考证，所以盖天说遭到的第一个责难就是“地方”。说是天不与地直接接合，而是在地上有8根擎天柱支撑着天，中央有枢纽，周围用绳索捆绑，像一个圆顶的八柱凉亭一样。

这种说法更玄乎了，难怪旧中国时代的楚国伟大诗人屈原在《天问》中提出了疑问，这疑

问经郭沫若先生翻译成现代语言，就是：

这天盖的伞把子，到底插在什么地方？

绳子，究竟拴在何处，来扯着这个帐篷？

八方有八根擎天柱，指的究竟是什么山？

东南方是海水所在，擎天柱岂不会完蛋？

确实，这样一个凉亭式的宇宙根本无法运动，中央虽有一个伞把子模样的枢纽也无济于事。

这样，到了公元前100年左右，《周髀算经》对第一次盖天说作了重大改进，提出了第二次盖天说。它认为天与地相接，也不用擎天柱支撑，因为“天似盖笠，地法盘”，天地都是拱形的，两者之间相距8万里；北极是天的最高点，极下是地的中央，也是地的最高点，天地都从自己的最高点向四周下垂，人居住在极下之南，所以看见天极在北方。

第二次盖天说还认为，日、月、星辰都随着天盖绕北极旋转，它们的出没并不是真正的升落，而是由于它们与我们之间的距离时远时近造成的——近到一定程度时显现出来被我们看

见，远到一定程度时表现为隐没我们看不见。至于昼夜四季长短和太阳出没方位等等的变化，它是用太阳在四季中沿着大小不同的轨道运行来解释的。

尽管第二次盖天说比第一次盖天说有了进步，并且应用了相当复杂的算术运算来推算有关的天文现象，但是随着天文学的发展，它的不能自圆其说之处还是被人们发现了，而且矛盾越来越多。这就促使人们去思索和建立更符合客观实际的宇宙观，结果是浑天说诞生了。

其实，浑天说的基本思想，在中国早就有了。公元前4世纪，哲学家慎到在《慎子》一书中就说："天体如弹丸。"意思是天不是半球形而是整球形的。另一位哲学家惠施又在《庄子》一书中写道："南方无穷而有穷。"惠施是主张宇宙无限的，他的这句话的意思是说，人们一直朝南走，以为总可以走到尽头，但实际上可以一直走下去，转回来再继续向南走，周而复始，没有尽头。这已经包含大地是球形的思想。

到了汉代，浑天说已逐渐完备。公元前104年，天文学家落下闳制成了浑仪，它至少由一个赤道环和一个黄道环同心安装的，可以绕南北极轴旋转的四游环组成，这显然是在浑天说的

理论基础上制成的。公元前50年，天文学家耿寿昌又制成浑象。这是一个直径2尺多的空心圆球，有南北两极，可绕极轴旋转，极轴和地平面是一个按照浑天说模拟天体运动的仪器，类似于今天的天球仪。

对浑天说叙述得最透彻的是东汉天文学家张衡。他改进和完善了浑仪和浑象，并在《浑天仪图注》一书中对这个学说作了最概括的介绍："浑天如鸡子，天体圆如弹丸，地如鸡中黄，孤居于内，天大而地小，天表里有水。天之包地，犹壳之裹黄。天地各乘气而立，载水而浮。……天转如毂之运也，周旋无端，其形浑浑，故曰浑天。"

盖天说改来改去，总是不能令人满意，究其原因，关键的问题是它把天看成是一个半球形的天盖，只能在地的上方，不会没入到地下，因此有很多问题解释不了。浑天说正是在这一点上与盖天说根本不同，它认为天是一个圆，天球有两个极，一个是在地上的北极，一个是在地下的南极。地静止不动，天球则绕极旋转，转动到地上时看得见，转动到地下时不可见。这样，恒星的出没，昼夜的交替，四季的变化，用浑天说都可以得到自然的解释。

比如，夏天时太阳近北极，所以高照于头顶附近，日出东北，日没西北，白天长，黑夜短；冬至时太阳远离北极，在南方低空中照耀，日出东南，没于西南。因地面上时间短，故昼短夜长。天球总是一半可见一半不可见，二十八宿分布于天球一周，所以也是半隐半现。可见用浑天说来解释这些天文现象，不会遇到像盖天说那样的种种困难，而且根据浑天说制成的浑仪的和浑象可以随天球旋转，用来观测天体位置，预告星辰的出没和运行，推算和编制历法，因而在“浑”“盖”两说的长期论争中，随着历史的发展，最后是浑天说取得了胜利。

奇怪的是，盖天说尽管破绽百出，不断遭到反对，不断进行修改，最后终于被浑天说代替，可在我们祖先的传统思想中却长期留存着。比如北京明清时代的著名古建筑天坛和地坛，就明显地体现了天（坛）圆地（坛）方的思想观念；甚至人们每天使用的货币铸成外圆内方的铜钱，吃饭用的工具做成上圆下方的筷子，也可见它的影响之深。究其原因，主要是我国自古以来就形成了“天尊地卑”“天圆地方”的观念，孔子又对此作了论证：“天尊地卑，乾坤定矣。”“天道曰圆，地道曰方。”后来的封建社会就以此

作为维持统治的思想基础。于是，天在上，地在下；君在上，臣在下；官在上，民在下；天高地低、天尊地卑被拿来附会人世社会，成了不可移位、不可倒置的天经地义的法规。

当然，浑天说也有明显的不足之处。比如认为蛋形一样的地浮在水中，静止不动，浮出水面的半球可供人类居住，没入水中的半球则只起依托和平衡的作用，这种说法显然很不完备。又如说“天表里有水”、“天地各乘气而立，载水而浮”，那么附着在天体的内壁，并随天球绕地球转的日、月、星辰，运转到地平线下以后，又怎么能从水里通过呢？太阳是火，掉到水里熄灭了，第二天有谁来给它重新点燃？浑天说后来只好改为地浮在气中，可是这气又是什么，那就各有各的理解了。

盖天说、浑天说之外，大约公元前 75 年，我国汉代郗萌还提出了宣夜说的宇宙观念。他认为浑圆的蓝天是人的视觉的局限造成的，天其实并不存在圆形固定的天壳，而是高远无极的无限空间，其中漂浮着日、月、星辰，它们都是依靠气的作用，自然而然地依据各自固有的规律运动着。

宣夜说的宇宙观念确有不少卓越之处，它

打破了带有硬壳的天球的观念，打破了日、月、星辰附着于天球运动的说法，给我们描绘了一幅日、月、星辰在物质的无限空间按照各自的规律运动的图景。同盖天说、浑天说相比，宣夜说更接近于天体空间分布的实际和现今关于宇宙的概念，是极可珍贵的开明进步的思想。但是，它只是停留在定性的思辩的阶段，没有对日、月、星辰的运动等作具体的说明，更没有根据这一思想提出自己独立的宇宙结构体系，可以说是属于纯粹性理论探讨，很难为讲究实际的中国学术界所接受的。因此，宣夜说到晋代已经"绝无师法"，到后来更是默默无闻，在提出后一千余年的历史长河中，它始终没有像浑天说和盖天说那样发挥积极的作用。

托勒密的地心说

公元前 4 世纪至公元前 1 世纪，希腊的科学中心从雅典移到亚历山大城。亚历山大城是年轻的马其顿希腊的统治者亚历山大大帝在征服埃及后，于公元前 332 年在尼罗河口建立的一座希腊化城市，拥有当时世界上最著名的图书馆和博物院，也拥有从世界各地云集而来的最有学问的学者和科学家。古希腊天文学方面的亚历山大学派就诞生在这里。

这里我们要特别提到两位著名的古希腊天文学家：一位是阿波罗尼，一位是依巴谷。

阿波罗尼继承了亚里士多德的地球位于宇宙中心的地心体系，但对他的同心球系统作了重大修改。阿波罗尼提出本轮均轮说，即用一组取名为本轮和均轮的圆圈来代替不合用的水晶球，均轮是以地球为中心的圆，而本轮则是以均轮上的点为中心的圆。按照阿波罗尼的设想，五大行星都在本轮上自西向东作匀速运动，而本轮的中心又在均轮上绕着地球自西向东作匀速运动。这样一来，我们从地球上看去，行星的运动就会出现“顺行”“留”“逆行”3种情况，而且离我们时远时近，从而也解释了它们的亮度变化。至于水星和金星之所以总是在太阳两边徘徊，那是因为水星、金星的本轮中心总是在地球和太阳的连线上的缘故。

用一些运动的几何曲线来取代那么多的神秘的水晶球和同心球，同时对行星距离地球不固定的事实也作了交代，看来阿波罗尼的本轮均轮说确实要比亚里士多德的“九层水晶球”说高明一些。但是，本轮均轮的宇宙模型未能解释太阳、月亮运动时快时慢的现象，这个现象是由依巴谷发现并且也是由他在地心说的基础上作

出解释的。

依巴谷是古希腊著名的天文学家，公元前190年生于毕迪尼亚，曾长期在罗得岛进行天文观测。他在天文学上的贡献是多方面的，比如编制成约载850颗恒星的星表，提出了根据亮度把肉眼可见的恒星分成6等的星等概念，相当正确地测定了月球的大小和距离，确定了测定太阳大小和距离的方法，发现了“岁差”并指出这是由于黄道和赤道的交点缓慢移动引起的。他还制成天球仪和星盘，编出第一部日食、月食表，精确地测定了许多天文数据。

在宇宙观上，依巴谷自己没有提出新的体系，但他在观测中发现太阳在天球上的运动是均匀的，从春分点依次行至夏至点、秋分点、冬至点最后回到春分点，每一段所需的时间都不一样。他没有想要改变阿波罗尼的本轮均轮体系，相反他假定太阳本来是在环绕地球的圆形轨道上作匀速运动的，只是由于地球不在这一轨道的中心，而在偏离中心1/24轨道半径处，这才产生了从地球上看来太阳在天球上一年一周运动（周年视运动）的不均匀性。这样依巴谷就创造了“偏心圆”的概念，把阿波罗尼的体系改造成了偏心的本轮均轮系统。

再往后就该轮到托勒密出场了。

托勒密大约是公元1世纪末出生于埃及的一个希腊化城市锡贝德，后来有很长时间在亚历山大城学习、生活和工作。他在天文学和地球学方面都做出了贡献，但他之所以古今闻名，主要还是因为他在总结、概括前人工作成果的基础上，通过自己的观测、计算、研究，写成《天文学大成》（又译《大综合论》《至大论》），把地心说的宇宙观发展成为一个完整的以他自己的名字命名的理论体系——托勒密地心体系。

《天文学大成》共13卷，是到那时为止天文学所有成就的最好总结，是当时天文学的百科全书。它采用了阿波罗尼的本轮均轮说，又吸收了依巴谷的偏心圆理论，并使之更确定更系统化。《天文学大成》不仅详细地论证和描绘了托勒密所主张的以地球为中心的宇宙图像，叙述了太阳、月亮和各大行星的运动，而且包括了推算日食、月食的方法，千余颗恒星的星表，以及一些天文仪器的制作方法等。

按照托勒密的地心体系，球形的地球位于宇宙中心，静止不动；由地球往外分别是月亮天、水星天、金星天、太阳天、火星天、木星天、土星天、恒星天，恒星天外面还有“最高天”；行

星都在各自的本轮上作匀速圆周运动，本轮的中心又在均轮上绕着地球匀速运动，只有太阳和月亮直接在各自的均轮上绕着地球旋转；地球不在各天体均轮的中心，而是与中心略有偏离；水星和金星的本轮中心始终在太阳和地球的连线上，这连线每年绕地球旋转一周；火星、木星、土星与各自本轮中心的连线始终与太阳和地球的连线平行，它们每年绕各自本轮的中心旋转一周，而本轮中心绕均轮旋转一周所需的时间则各不相同；太阳、月亮和行星除了上述运动外，还同恒星天一起，每天围绕地球自东向西旋转一周。

托勒密不仅是天文学家、地理学家，对数学也颇有研究。托勒密最大的成功之处，正在于他通过严密的数学计算，恰当地选取各个本轮、均轮的大小和比例，平面的交角，运动的速度，使得他的理论在当时的观测水平下，能够相当圆满地解释各种天象，并可用来预报行星的位置和日食月食的发生。

人们对事物的认识都有一个曲折发展的过程，谁也不可能一下子就完全弄清事实的本质、事物之间的相互联系和它们的运动变化规律。托勒密的地心体系是当时历史条件下的产物，

他总结了古代以来许多天象观测的成果，概括了当时人们对天体运动规律的认识，并且力图通过自己的观测实践和数学计算，建立一个统一的宇宙模型来解释所有天体的复杂运动（事实上，我们正是通过托勒密的著作，才知道了阿波罗尼、依巴谷和希腊早期天文学家的工作）。因此，《天文学大成》这一巨著的问世，不仅是天文学发展史上一个重要阶段的标志，而且对促进当时整个科学技术的发展也起到了积极作用。

遗憾的是，托勒密以后，公元5世纪前后，由于内部矛盾的激化和野蛮民族的入侵，罗马帝国灭亡了，许多城市被毁灭，科学文化遭浩劫，亚历山大城图书馆里的20余万卷手稿也被付之一炬。宗教势力乘机抬头，他们不仅管理宗教事务，而且拥有极大的政治权力。在教皇权力的鼎盛时期，他们甚至可以向西欧各国发号施令。

教会也垄断了文化知识，一切不合教义的思想都被禁止，一切背离神学的书籍都被烧毁。亚里士多德否认上帝的意志，反对灵魂不朽，他的地球球形学说又为托勒密所继承。托勒密的学说告诉人们天体的运行有自己规律，可以通

过计算进行预报。这些却都被认为是亵渎神灵的大逆不道或异端的邪说。结果，亚里士多德和托勒密的著作在很长一段时间里被列为禁书，不准保存、阅读和传播。

直到13世纪中叶，教皇才开始改变手法，让神学家去研究亚里士多德和托勒密的著作，并设法改头换面塞进宗教神学的私货。你看，既然上帝按照自己的形象创造了人，当然也会按照自己的意志选择地球作为宇宙的中心，并让人到宇宙中心去管理地上的万物，同时精心地安排太阳、月亮、星星都围绕着地球旋转……

于是，原来的“恶人”变成了“圣人”，原来的“禁书”变成了“范本”。托勒密的地心说成了论述宇宙结构的独一无二的“真理”，成了宗教神学的“理论基础”。成了符合基督教教义的僵死不变的教条，甚至成了仅次于《圣经》的偶像。它几乎同《圣经》一样是讨论问题的依据，谁要是反对托勒密的地心说，谁差不多就等于反对《圣经》、反对教会，就会受到严厉的惩罚。

难怪欧洲人称中世纪（公元5世纪至公元15世纪），特别是中世纪的前期为黑暗时期。

众说纷纭

16 世纪的伟大的天文学家哥白尼冲破了宗教和神学的阻挠，纠正了古希腊学者托勒密“地心体系”的错误，建立了“日心说”，引起了天文学的巨大革命。但是，那个时代人们所讨论的宇宙实质上是太阳系。直到伽利略首先把望远镜指向了浩瀚的星空，才结束了人类肉眼观天的时代。

到 20 世纪初，随着爱因斯坦广义相对论的建立以及河外星系谱线红移的发现，人们对宇宙的认识才揭开了崭新的一页。

大爆炸学说

大爆炸宇宙学说是爱因斯坦最早提出来的，出自他在 1917 年发表的广义相对论，爱因斯坦的《用广义相对论对整个宇宙的考察》这篇著名论文，拉开了现代宇宙学的帷幕。宇宙作为一个整体，是由引力支配的。按照爱因斯坦方程，引力可以看作是弯曲的时空，宇宙中物质的数量决定了空间的弯曲程度。在爱因斯坦看来，宇宙为真空，亦称时空，乃是某种有着自身动态生命的东西，它按照明确的规律弯曲、膨胀或收

缩，像当时所有的人一样，爱因斯坦也相信宇宙是静态的，在他发现自己的方程预示时空应该膨胀（宇宙将变得更大）时，深感恐惧，便引入了一个常数项，即“宇宙常数”，也叫宇宙因子，以此来修正自己的方程，以期抵消这种膨胀而得到一个静态宇宙。在后来的岁月里，爱因斯坦曾说过，这是他在科学上所犯过的最大错误。

1922年，俄国数学家亚历山大·弗里德曼改进了爱因斯坦描述宇宙本性的方程，导出了这些方程的动态解，但他并不十分明白他所解的物理意义。5年后，比利时天文学家勒梅特提出了一个大胆而明确的概念，认为“空间要随时间而膨胀”，这正是爱因斯坦方程的动态意义。弗里德曼的解提供了两种基本的可能性，直到今天仍然是人们了解宇宙的基础。这两种可能性均始于一个“奇点”——一种密度无限大的状态，并因膨胀而转化为各种密度较低的状态。由于空间是按照宇宙间物质的量而弯曲的，这导致两种不同的结果。即，如果物质的量少于某个临界数值，则膨胀将会永远继续下去，星系团就会彼此越离越远，这时，宇宙是“开放的”；如果物质的量大于这个临界数值，那么引力就会十分强大，足以使空间弯曲到这样的地步：先是

使膨胀停止下来，继而又使之转为坍缩，于是宇宙又重新回复到某种超密状态，这样的宇宙称为“闭合的”。

大约在1917年，美国天文学家斯莱弗发现河外星系谱线有系统地向红端移动，这种红移随漩涡星云（后来知道是河外星系）距离的增加而变大。1929年，哈勃进一步发现，几乎所有的星系都有红移现象，而且红移量z与距离r成正比。将红移星 $Z=(\lambda_o-\lambda_e)/\lambda_e$（$\lambda_o$ 为观测波长，λ_e 为天体发射波长）折合成运动速度，可以用公式 $V=Hr$ 表示，后来人们将该式称为哈勃定律。式中比例常数H称为哈勃常数，它的倒数与时间同量纲。哈勃定律的确立表明，爱因斯坦、弗里德曼等人关于“宇宙膨胀”的预言是很有道理的，因为大部分星系谱线红移（即远离我们而去）的观测事实意味着宇宙确实在膨胀。

宇宙为什么会膨胀呢？许多宇宙学家怀着这样一种想法：宇宙一定有一个明确的开端。本世纪20年代，勒梅特曾提出“宇宙蛋”爆炸假说，他把当初那个包含我们宇宙全部物质的原始天体称为“宇宙蛋”，由于它的猝然爆裂，其碎片逐渐演变为星系。1948年，俄国出生的美国天体物理学家伽莫夫等人发现了勒梅特的理

论，正式提出了大爆炸宇宙论。

按照大爆炸宇宙理论，我们的宇宙在遥远的过去曾处于一种极高温度和极大密度的状态，这种状态被形象地称为“原始火球”。它由于发生了大爆炸，物质四散飞出，宇宙间充满了光子、电子和中微子等基本粒子。由于宇宙不断地膨胀，温度很快下降：当温度降到10亿度左右时，中子开始失去自由存在的条件，它或者衰变为质子和电子，或者和质子结合成氘、氦等原子核，化学元素开始形成；当温度下降到数千度时，辐射作用减退，气态物质逐渐聚成气云；此后进一步收缩成各种恒星体系，包括星系、恒星、行星及其卫星以至生命的出现。从大爆炸发生至现在时间已过去了大约200亿年。有计算表明，宇宙中天体的分布几乎是均匀的，由于膨胀，宇宙渐渐地变冷，宇宙残留的辐射温度降至大约5K。

大爆炸宇宙学获得了以下观测事实的有力支持：（1）河外天体有系统性的谱线红移；（2）天体的氦丰度。即许多不同的天体中氦元素含量大致都是25～30%；（3）天体的年龄。现在各种天体的年龄测定结果均为200亿年；（4）宇宙微波背景辐射。美国贝尔电话实验室的彭齐

亚斯和威尔逊于1965年发现了温度约为3K的宇宙微波背景辐射，为此他们获得了1978年的诺贝尔物理学奖。大爆炸宇宙学所建立的上述宇宙演化模型已成为现代最有影响的理论模型，被称之为“标准宇宙模型”。事实上，它至今仍存在不少困难的问题，例如均匀性、奇点等问题，特别近年来关于“星系长城”和“大吸引物”等新发现，已对标准宇宙模型提出了挑战。

物质宇宙模型

1928年，英国物理学家狄拉克预言电子的反物质——正电子的存在。到了1932年，美国物理学家安德生在宇宙线中发现了它，提供了反物质存在的一个证据。由此，使宇宙起源于“原始火球”（亦称为“原始原子”）的学说遇到了困难。因为物质和反物质相遇时，就会“湮灭”，即转化为其他形式的物质，如一个电子和正电子相遇时就转化为两个光子。瑞典物理学家克莱因由此提出了一种对称宇宙模型，即正、反物质宇宙模型。他认为，大爆炸宇宙学要求正反物质存在微小的不对称是与粒子物理学的正、反粒子对称性矛盾的，从而假定在宇宙最初阶段正、反物质是完全等量的。他假定宇宙初期是由一团稀薄的双等离子体气云所组成，其中

包含有等量的正、反粒子。由于引力作用该稀薄气云会收缩而密度逐渐增高，正、反物质碰撞机会不断地增多，频繁的湮灭反应产生电磁辐射。当其密度高到一定程度时，湮灭过程所产生的辐射压将超过引力作用，使收缩停止而转化为膨胀，于是形成我们今天的膨胀宇宙。

按照这种宇宙模型推测，在宇宙中可能存在着巨大的正物质区域和反物质区域。在解释正、反物质何时分开，又怎样分开的问题上，克莱因假设宇宙初始存在磁场，由于引力和电磁力的作用，正、反物质将分开并各自聚集为以正物质为主和以反物质为主的团块，其间由薄层的“混合”物质隔开，即在正、反物质交界处，由于正、反物质湮灭所产生的巨大辐压可保持正、反物质的区域分开。我们今天正好生活在以正物质为主的宇宙区域中。可能在这个正物质的宇宙之外，还存在另外的反物质的宇宙。有些宇宙学家指出，最初宇宙中的正、反物质为什么不会湮灭呢？它们后来究竟是怎样分开的？正反物质模型对这些问题的回答都很勉强。从原始宇宙中既未找到按照此模型应当存在的反物质粒子，也尚未从观测上发现正、反物质区之间由正、反粒子湮灭产生的大量 γ 射线光子。此外，

这一理论对宇宙微波背景辐射也难以作出解释。尽管近年科学界获得了一些支持反物质存在的间接证据，正、反物质宇宙模型也还只是一个影响不大的科学假说，尚待检验。

宇宙里的水

明亮的旋涡白云和湛蓝的海水，使地球在繁星天宇间相貌出众，楚楚动人。包裹地表的水以液态为主，约13.6亿立方公里，呈不连续分布水体状。生命的诞生发展，人类的文明昌盛，都离不开水。因此，要认识宇宙、窥测天体，必须探寻水的踪迹与存留。

天文学研究和登月考察证实，我们的近邻——月球几乎是赤地千里的天国。月球的大气气压还不足地球的1×10^{-12}。所以，130℃的向阳月面对沸点远远低于100℃的月球水来说，只能沸腾蒸发，绝不可能存在液体。而且，月球体态娇小，引力柔弱，根本无缚水汽存留的能力。

然而，在月岩样品中还是发现有含在针铁矿内的结构水。结构水以$(OH)^-$、H^+离子形式，牢固地与其他离子连接在矿物晶体的一定位置，因而就不同于结晶水、吸附水之类的矿物

水，非600℃～1000℃高温而不能逸出。这些数量极微的结构水的存在，表明月球也并非滴水皆无。因此，在终年－33℃的月表深层和极区还是有希望找到永久冰冻层。

水星距太阳仅0.39天文单位，其表面特征、大气稀薄（大气压2×10^{-9}毫巴）程度等诸方面与月球酷似。水星表面温度170～430℃。而且，水星地下温差极小，几乎永远保持在冰点以上。所以，水在水星简直无立锥之地。

轨道近于圆形的金星比地球更临近太阳，加之深厚CO_2大气的巨大“温室效应”，使金星上的水始终以蒸汽的形式漂浮于浓厚大气中。美国麦克唐讷天文台在60年代末首次获得金星水蒸汽光谱，并测定其含量很少，只有1%。苏联“金星号”测定金星低层大气水蒸汽含量不大于0.1%或0.2%。按照相当地球水量百万分之一的估计，则金星大气中水蒸汽水量约为1.4千立方公里，只覆盖其表面不到10厘米深的一圈水层。金星大气重氢与氢比值约为地球的100倍，从而可推知金星也曾与地球一样拥有大量水体，而水的消失则是环境日趋恶化的结果。

火星离太阳较远，其自转周期（24小时37

分)、黄赤交角(25°)等与地球相近,曾使人们对火星水寄以厚望。研究表明,火星水量虽不能与地球同日而语,但堪称充裕。

1963 年,美国塞浦拉德等测定出火星大气光谱约含 1/1000 的微弱水蒸汽带。空间探测器发现火星大气含水量悬殊极大,从无法测定到 100 微米降水量均有分布,平均含水量约 0.03%,全部含水量约 13 立方公里。

平均仅有 6.1 毫巴气压的稀薄大气,无疑使火星水大约在 0℃ 就会沸腾。因此,在火星赤道,水便会很快沸腾汽化,而在两极则能迅速凝结成冰。只有蒸汽和冰才是火星水存储于世的稳定形态。

关于火星的极冠,目前已认定它们是由 CO_2 干冰和水冰混合组成的冰帽。在火星上,水蒸汽的凝结温度(-80℃)远高于 CO_2 的凝结温度(-125℃),所以,水冰可形成夏季冰帽。它们的面积分别为:南极冰帽 27.6 万平方公里,北极冰帽 110.0 万平方公里。两极冰帽总共含水不超过 136 万立方公里,足以形成环绕火星表面近 10 米厚的水层。

高空飞行器的红外探测和"海盗号"登陆舱对火星表面物质的研究,均表明火星中含约 1%

的结合水。鉴于火星高纬度区地下终年寒冷，无疑也会形成类似地球极区的永冻层。此外，火星表面广布着宽阔蜿蜒的河床和树枝网状渠沟的干涸水道等，这些也都说明火星当年也曾流水潺潺、碧波荡漾，后随日月嬗变而水量锐减，才到了今天的地步。

与类地行星相比，距太阳较远的类木行星不仅以表面－130℃～－230℃的低温见长，更以其体积大并拥有浓厚氢氦大气而闻名。这些星球上，虽然是滴水成冰，但仍不失为水的太空“福地”。

木星大气含水极微。光谱分析揭示，水蒸汽连同甲烷（CH_4）、氨（NH_3）等气体总量仅占大气1％。维台茨林等依据“先驱者号”红外资料，计算了木星云的成分和结构理论模式，指出其下部是一些冰晶体成分。据此，人们确信其他类木行星大气也多少不等地含有水。

除木星表面没有固化而呈液态外，其他固态化的类木行星理论上讲都可能具有不同厚度的水冰幔或冰包层。据推测，土星就有厚约5000公里的冰幔。而在天王星和海王星的各种结构模式中，对含水量的估计从50％～80％不等，一般认为可达到65％～68％。构成它们厚

厚冰幔的主要成份是水。经鲍适拉克等推算，水冰以及一些其他冰冻气体的总含量如下：木星，5%；土星，12%；天王星，60%；海王星，70%。

对距离最远、发现较晚的冥王星虽了解甚少，但从其低密度（0.79 克/厘米³）推断，也主要由水冰和某些石质冰冻气体组成。

此外，“先驱者 11 号”探明，土星环主要由约 1 厘米大小的冰块，以及表面包裹冰或薄冰霜的硅酸盐颗粒组成。

木卫 2、木卫 3 和木卫 4 的反射波谱和红外研究也都表明，木星卫星的表面分别覆盖有 50%～100%、20%～65%和 5%～25%的水冰或霜。木卫 2 厚 75 米～150 米的冰表层分布不均匀，致使其半球明亮半球暗。从木卫 3 的密度（1.9 克/厘米³）来看，其含水达 30%～50%之多。目前认为，木卫 3 有近 100 公里厚的冰壳覆盖于 400 公里～800 公里的液态水幔上。

而且，土卫 1、土卫 2、土卫 3、土卫 4 和土卫 5 都具有高反照率（≥0.6），还具有较低密度（1.0 克/厘米³～1.4 克/厘米³），这说明它们有着冰天霜地的表面，而且水冰或水将可能是它们 70%～80%的组分。近红外照片已使人一睹土卫 2 那“满面冰霜”的神采。

早在1947年陨石水就使人眼界大开，其中尤以碳质球粒陨石含水丰盛而著称，达20.08%。这主要是一些含于绿泥石、蛇纹石和石膏等矿物内的结构水。因此，它们既经得住漫游太空长途跋涉的实验，也就免遭坠落地球大气灼热焙烧的荼毒。科学家们发现，陨冰密度大于地球冰，而且其中含有氨基酸和高于地冰的金属元素。

陨石水和陨冰揭示了太空水的奥秘，使人们对与陨石有“亲缘”关系的天体——彗星、小行星等萌生有水的联想。1940年在彗星光谱中首次发现可能是来自水分解的羟基（－OH）。目前，估计彗星中水的含量在30%～75%左右，并主要以固态——冰存在。只有经过近日点附近时，冰受热才会升华蒸发成汽并弥散于空间产生彗尾。

对回归的哈雷彗星的近探，表明在包裹约1厘米厚的多孔高熔点物质的哈雷彗核表层以下依然严寒如冬，保持－80℃～－90℃的低温，仍不失为冰的久居之地。经测算，哈雷彗星含冰80%左右。

目前仅在一些小行星表面发现有含水化合物。这种结合水在谷神星（1号）表面含10%～

15%，智神星（2号）也含5%左右。此外，诸如小行星福尔申娜（19号）以及奈玛由兹、维比莱等小行星，均表现出可能有水的姿态。1982年地面红外光谱进一步揭示，在谷神星上还可能有水和冰体存在。

水，不仅在太阳系内踪迹遍布，而且在浩瀚广宇间也倩影普存。除90%的氢和9%的氦外，宇宙中最普通的原子就是氧。氢与氧在适当条件下的结合就形成水。

射电天文学为人类开创了宇宙探水之路。1963年在仙后座A射电源首次发现预示水分子存在的星际羟基。1968年获得了星际空间分布的水分子的1.35厘米波长的射电谱红。后来，水分子谱红在人马座B_2射电源、猎户座大星云和其他射电源中相继出现。特别是在金牛座一个被认为包裹着新生恒生的冷尘埃层云中，还观测到大量微粒状冰的3.1微米波长的红外特征谱线。

此外，水分子还能在温度低于5000°K的低温的M型恒星大气以及红外光谱中存在。距我们240万光年的三角座旋涡星系（M33）是最先观测到水微波谱线的河外星系。1978年，发现了远离1200万光年的河外星系（MGC4945）表

面“水澹澹兮生烟”，弥漫着大量氤氲水汽。

宇宙中已发现了清冽水、晶莹水和蒙蒙汽，以及似乎微不足道的水分子，说明宇宙间的生命、智慧生物和文明星球也许并非地球一家，这正是科学家们对宇宙水的兴趣之所在。

宇宙的膨胀

在谈论我们的宇宙的未来命运之前，首先应把“宇宙”的概念解释清楚，以免引起不必要的误解。科学只限于研究那些能用科学实验加以解答的问题，因此，我们所说的宇宙，可定义为可观测的一切天体的整体。常表述为“我们观测到的宇宙”或“我们的宇宙”，简称“宇宙”。

我们的宇宙是静止的还是运动的？第一个以科学方法考察宇宙的人，是大物理学家爱因斯坦。他于1917年发表了《对广义相对论的宇宙学考察》一文，建立了第一个宇宙模型。他认为，宇宙是一个体积有限的弯曲的封闭体，没有边界。类似一个球面，不随时间变化。这称为有限无界静态宇宙模型。

不久，人们认识到宇宙一定是非静止的。1992年，苏联数学家弗里德曼根据广义相对论得出，按照空间曲率为正、为零、为负的三种情

况，宇宙分别是：封闭的，即宇宙将周期性地膨胀和收缩；开放的，即宇宙无限膨胀下去。1927年，比利时科学家勒梅特明确提出了大尺度宇宙空间随时间而膨胀的概念。由于缺乏观测实验的证实，这些理论预测并未引起重视。

通过观测天体光谱中谱线的红移和紫移，天文学家能够确定这些天体是远离我们而去，还是朝向我们而来。1914年，美国天文学家斯里弗发现，在41个被研究的星系中，有36个以很高的速度远离我们而去，只有少数几个是朝向我们而来。后来才弄清楚，这些朝我们而来的是邻近我们银河系、同属于本星系中的星系。美国天文学家哈勃在测定了星系的距离之后，将星系的距离与星系的退行速度相比较，于1929年发现了著名的哈勃定律：星系越远，它的退行速度越大。哈勃定律表明：星系在所有方向上以正比于其距离的速度彼此退行，即宇宙正在膨胀。弗里德曼和勒梅特的理论预言终于得到了观测的证实。

顺便说一句：有人常常提出这样的问题：宇宙膨胀到"哪里"去呢？这样提问是不正确的。不存在一种任何东西都可以膨胀进去的虚空，宇宙本身就是一切，宇宙不存在任何其他的物

质形式，既没有空间也没有时间。

我们的宇宙是永远膨胀下去，还是在将来某个时刻停止膨胀并开始收缩呢？我们知道，由于宇宙不同部分的相互吸引，使得星系的退行一直在减速。问题是：这个引力最终能否拉住彼此退行的星系，使宇宙停止膨胀，甚至把星系汇拢起来？还是只能减慢各星系退行的速度，却永远也中止不了宇宙膨胀的总趋势？引力的大小取决于宇宙物质的总量的多少，即取决于宇宙物质密度的大小。如果这密度高于某一临界的密度值，那么引力最终将足以制止星系的退行并把星系拉拢到一起；如果这密度低于临界密度值，则引力不够大，因而宇宙膨胀就永远继续下去。

临界密度值取决于哈勃常数值的大小。例如，哈勃常数取值为50公里/秒・百万秒差距，临界密度约为 5×10^{-30} 克/厘米^3，或每1000升空间约有3个氢原子。计算临界密度并不困难，利用我们熟知的一个质量为M的天体的脱离速度公式 $V=\sqrt{\frac{2GM}{r}}$，因为 $V=Hr$（哈勃定律），$M=\rho\frac{4}{3}\pi r^3$，代入上式便求得临界密度 $\rho=3H^2/8\pi G$。

我们看到，宇宙的未来命运取决于宇宙中所有种类的物质的平均密度的实际大小。

根据我们观测到的星系的质量，计算得出我们宇宙的平均密度约为 3×10^{-31} 克/厘米^3。但是，星系际空间可能充满着一些实际上不发光的物质。如：完全电离的气体，发光很弱的恒星，甚至已预言存在，但尚未观测到的光微子、引力微子、轴子等基本粒子。如果加入这些物质，那么宇宙物质平均密度值就大大增加了。

1980 年春，苏联科学家宣布，根据他们多年的实验结果，表明电子中微子静止质量近似等于 5×10^{-32} 克。应强调一下，测量中微子静止质量的实验是十分艰巨的工作，苏联科学家有的结论决不能认为是中微子具有非零静止质量的最终结论，还要反复检验。除了苏联的实验之外，另外一些科学家也宣布了他们测定的中微子非零静止质量的实验结果。这一结论如果最终得到证实，对我们宇宙未来的命运的影响太重大了。原因很简单：中微子在宇宙中太丰富了，尽管每一个单独粒子的质量小得可以忽略不计，但它们加在一起，对宇宙总质量的贡献就成为主要的了。计算表明，宇宙中微子物质的密度接近 10^{-30} 克/厘米^3，比宇宙中一般物质的密

度大得多！因此，如果中微子静止质量不为零，那么宇宙物质密度将超过临界密度，在遥远的未来，宇宙膨胀将转化为收缩。因为中微子非零静止质量的实验是初步的，因此由它推出的结论也是初步的。

现在回到我们的问题。为了判定宇宙膨胀是永远继续下去，还是某个时候会中止膨胀，人们还根据宇宙膨胀正在减速的速率来判断。这种减速用称为减速因子的参量来量度。不过，人们对减速因子的测定结果是非常不确定的，很难根据这些结果断定宇宙究竟是开放的还是闭合的。

判断宇宙是开放的还是闭合的另一方法，是确定宇宙的精确年龄，并把它同所谓的“哈勃时间”相比较。可以证明，如果宇宙的年龄小于哈勃时间的2/3，那么宇宙是闭合的；如果宇宙年龄大于哈勃时间的2/3，那么宇宙是开放的。目前宇宙年龄和哈勃时间这两方面的观测误差都太大，用这种方法不能得出任何肯定的结论。

原则上还可以借助于氘丰度的精确测定和与一定的临界密度相比较，来决定宇宙是开放的还是闭合的。但所有上述方法都存在着很大的不确定性，所以宇宙膨胀何时了的问题还未

解决。

宇宙的大数

英国物理学家廷德尔曾说过一句富有科学哲理的名言："有了精确的实验和观测作为研究的依据，想象力便成为自然科学理论的设计师。"在人类认识自然的历史过程中，无数的事例说明，科学家的想象力和创造性思维对科学发现起着重要的作用。波兰天文学家哥白尼经过长期的辛勤观测，反复思索，大胆想象，敢于冲破前人的陈旧观念，提出了太阳中心说，成为近代科学的奠基者之一。德国科学家开普勒根据他的老师第谷长期积累下来的火星观测资料，运用智慧，发挥创造性，发现了行星运动三大定律。自然界含有无穷的玄机和奥秘，等待富有想象力的人去大胆设想，揭示其内在规律。宇宙大数就是一位富有想象力的科学家提出的著名自然之谜。

英国物理学家狄拉克是量子力学的创始人之一，对 20 世纪物理学的发展起了重要作用，曾获得 1933 年诺贝尔物理学奖金。20 世纪 30 年代，他注意到，一个电子（带负电荷 e，电荷量为 4.803×10^{-10} 静电单位，质量 $m_n=1.672$

$\times 10^{-24}$克）之间的电磁力（库仑力）和它们之间的万有引力之比，是一个无量纲的大数 N_1，即

$$N_1 = \frac{e^2}{Gm_em_n} = 0.23 \times 10^{40}$$

式中 G 是万有引力常数，等于 6.67×10^{-8}达因·厘米^2/克^2。另外，我们观测到的宇宙半径 L 与电子半径 a_0 之比也是一个大数 N_2，即

$$N_2 = \frac{L}{a_0} \approx 3.38 \times 10^{40}$$

式中 $L \approx C\tau$，τ 表示宇宙年龄，约为 10^{10}年，C 为光速 $= 3 \times 10^{10}$厘米/秒，a_0 为电子半径，为 2.8 ×10 －13厘米。这两个大数是从不同角度用不同方法得出来的，它们之间竟近于相等，这意味着什么呢？是偶然的巧合吗？还是有着深刻的物理意义呢？狄拉克认为这并非是偶然的巧合，他指出："在自然界中，任何两个很大的无量纲的数字都可用一个简单的数学式子联系起来，而式子中的系数的数量级都是 1。"

狄拉克的论断是否正确呢？许多人开始研究这个问题，陆续发现宇宙中大尺度的量和微观世界的量之间存在更多的巧合。

例如，我们观测所及的宇宙与一个核子之间的重力势能，同与一个核子的质量（m_n）相当的能量之比，近似等于 1。

电子半径与普朗克长度（$=1.6\times10^{-33}$厘米）之比等于$10^{20}=N^{\frac{1}{2}}$，普朗克质量2.2×10^{-5}克与质子质量之比等于$10^{20}=N^{\frac{1}{2}}$。

宇宙半径与普朗克长度之比为$10^{60}=N^{\frac{3}{2}}$，宇宙总质量与普朗克质量之比为$10^{60}=N^{\frac{3}{2}}$。

宇宙总质量与核子质量之比等于$10^{80}=N^{2}$。

所有这些无量纲的数值，都是10^{40}或是它的简单的幂次。

更为有趣的是，宇宙大数N竟和古希腊科学家阿基米德计算出的一个宇宙大数有奇异的巧合。阿基米德在他的一篇著名的《论沙数入计量》中，给出了计量大数的方法，还根据当时天文学所达到的水平，求出宇宙中的沙粒数，用现在的数字表示是10^{63}个。由于一粒沙内含有10^{17}个核子，竟也得到整个宇宙中共含有$10^{63}\times10^{17}=10^{80}=N^{2}$个核子。这真是奇妙的巧合。

上述种种例子表明，宇宙大数N和许多物理参量都有密切联系，这些奇异的巧合是否反映客观世界的某种基本规律呢？人们不满足用偶然的巧合来解释，力求揭示它们必然的因果关系。宇宙大数之谜的提出，促使人们去寻找基本物理参量和宇宙的演化与结构之间的可能联

系。

我们知道，宇宙在膨胀，随着宇宙的膨胀，宇宙半径将增大。如果物理常数是不变的，显然宇宙大数 10^{40} 也就不同了。

一种理论认为，宇宙大数的巧合反映了自然界的一种内在规律，物理常数不是不变的，而是随着时间在变化。就是说，随着宇宙的膨胀，物理常数如核子的大小也作相应的变化，其变化方式是始终保持固定的比值为 10^{40} 不变。至于为什么是 10^{40} 这个数，则把它归因于宇宙创生的原始条件。至于物理常数为什么要以这样的方式随着时间变化呢？则未作解答。

近年来，美国科学家迪克为了说明一些宇宙现象，提出了叫作“人择原理”的理论。他认为，因为人在研究宇宙，所以宇宙的一个重要性质就是允许人能存在，人的存在与物理常数物巧妙配合有关。例如，只要中子和质子的质量稍稍不同于现在，就将有上百种原子核是不稳定的，也将影响分子的形成及生物的演化根基，也就不会再有人的存在。人择原理认为。可以存在许多具有不同物理参数和初始条件的宇宙。换句话说，人的存在限制了宇宙生成的初始条件和物理参数，它们必须容许产生某种特定的物

理、化学环境，进而在某一阶段产生出作为观察者而存在的人。

根据人择原理：只有当物理常数和宇宙学参量之间满足宇宙大数的比例关系时，才提供了产生人类的必要条件。这种理论，还未得到人们广泛的承认。因此，宇宙大数至今还是未解之谜。

宇宙的黑洞

黑洞这一术语是不久以前才出现的。它是1969年美国科学家约翰·惠勒为形象描述至少可回溯到200年前的这个思想时所杜撰的名字。那时候，共有两种光理论：一种是牛顿赞成的光的微粒说；另一种是光的波动说。我们现在知道，实际上这两者都是正确的。由于量子力学的波粒二象性，光即可认为是波，也可认为是粒子。在光的波动说中，不清楚光对引力如何响应。但是如果光是由粒子组成的，人们可以认为，它们正如同炮弹、火箭和行星那样受引力的影响。起先人们以为，光粒子无限快地运动，所以引力不可能使之慢下来，但是罗麦关于光速度有限的发现表明引力对之也有重要影响。

1783年，剑桥的学监约翰·米歇尔在这个

假定的基础上，在《伦敦皇家学会哲学报》上发表了一篇文章。他指出，一个质量足够大并足够紧致的恒星会有如此强大的引力场，以致于连光线都不能逃逸——任何从恒星表面发出的光，还没到达远处即会被恒星的引力吸引回来。米歇尔暗示，可能存在大量这样的恒星，虽然会由于从它们那里发出的光不会到达我们这儿而使我们不能看到它们，但我们仍然可以感到它们的引力的吸引作用。这正是我们现在称为黑洞的物体。它是名符其实的——在空间中的黑的空洞。几年之后，法国科学家拉普拉斯侯爵显然独自提出和米歇尔类似的观念。非常有趣的是，拉普拉斯只将引力观点纳入他的《世界系统》一书的第一版和第二版中，而在以后的版本中将其删去，可能他认为这是一个愚蠢的观念。(此外，光的微粒说在19世纪变得不时髦了；似乎光的一切特性都可以以波动理论来解释。而按照波动理论，不清楚光究竟是否受到了引力的影响。)

事实上，因为光速是固定的，所以，在牛顿引力论中将光类似炮弹那样处理实在很不协调。(从地面发射上天的炮弹由于引力而减速，最后停止上升并折回地面；然而，一个光子必须

以不变的速度继续向上，那么牛顿引力对于光如何发生影响呢？）直到1915年爱因斯坦提出广义相对论之前，一直没有关于引力如何影响光的协调的理论。甚至又过了很长时间，这个理论对大质量恒星的含意才被理解。

为了理解黑洞是如何形成的，我们首先需要理解一个恒星的生命周期。起初，大量的气体（大部分为氢）受自身的引力吸引，而开始向自身坍缩而形成恒星。当它收缩时，气体原子相互越来越频繁地以越来越大的速度碰撞——气体的温度上升。最后，气体变得如此之热，以至于当氢原子碰撞时，它们不再弹开而是聚合形成氦。如同一个受控氢弹爆炸，反应中释放出来的热使得恒星发光。这增添的热又使气体的压力升高，直到它足以平衡引力的吸引，这时气体停止收缩。这有一点像气球——内部气压试图使气球膨胀，橡皮的的张力试图使气球缩小，它们之间存在一个平衡。从核反应发出的热和引力吸引的平衡，使恒星在很长时间内维持这种平衡。然而，最终恒星会耗尽了它的氢和其他核燃料。貌似大谬，其实不然的是，恒星初始的燃料越多，它则燃尽得越快。

这是因为恒星的质量越大，它就必须越热

才足以抵抗引力。而它越热，它的燃料就被用得越快。我们的太阳大概足够再燃烧50多亿年，但是质量更大的恒星可以在1亿年这么短的时间内用尽其燃料，这个时间尺度比宇宙的年龄短得多了。当恒星耗尽了燃料，它就开始变冷并开始收缩。随后发生的情况直到本世纪20年代末才初次被人们理解。

1928，一位印度研究生——萨拉玛尼安·强德拉塞卡——乘船来英国剑桥跟英国天文学家阿瑟·爱丁顿爵士（一位广义相对论家）学习。（据记载，在本世纪20年代初有一位记者告诉爱丁顿，说他听说世界上只有三个人能理解广义的相对论，爱丁顿停了一下，然后回答："我正在想这第三个人是谁。"）在他从印度来英的旅途中，强德拉塞卡算出在耗尽所有燃料之后，多大的恒星可以继续对抗自己的引力而维持自己。这个思想是说：当恒星变小时，物质粒子靠得非常近，而按照泡利不相容原理，它们必须有非常不同的速度。这使得它们互相散开并企图使恒星膨胀。一颗恒星可因引力作用和不相容原理引起的排斥力达到平衡而保持其半径不变，正如在它的生命的早期引力被热所平衡一样。

然而，强德拉塞卡意识到，不相容原理所能提供的排斥力有一个极限。恒星中粒子的最大速度差被相对论限制为光速。这意味着，恒星变得足够紧致之时，由不相容原理引起的排斥力就会比引力的作用小。强德拉塞卡计算出，一个大约为太阳质量1倍半的冷的恒星不能支持自身抵抗自己的引力。（此质量现在称为强德拉塞卡极限。）苏联科学家列夫·达维多维奇·兰道几乎在同时也得到了类似的发现。

这对大质量恒星的最终归宿具有重大的意义。如果一颗恒星的质量比强德拉塞卡极限小，它最后会停止收缩并终于变成一颗半径为几千英里和密度为每立方英寸几百吨的"白矮星"。白矮星是它物质中电子之间的不相容原理排斥力所支持的。我们观察到大量这样的白矮星。第一颗被观察到的是绕着夜空中最亮的恒星——天狼星转动的那一颗。

兰道指出，对于恒星还存在另一可能的状态。其极限质量大约也为太阳质量的一倍或2倍，但是其体积甚至比白矮星还小得多。这些恒星是由中子和质子之间，而不是电子之间的排斥力所支持，所以它们被叫做中子星。它们的半径只有10英里左右，密度为每立方英寸几亿

吨。在中子星被第一次预言时，并没有任何方法去观察它。实际上，很久以后它们才被观察到。

另一方面，质量比强德拉塞卡极限还大的恒星在耗尽其燃料时，会出现一个很大的问题：在某种情形下，它们会爆炸或抛出足够的物质，使自己的质量减少到极限之下，以避免灾难性的引力坍缩。但是很难令人相信，不管恒星有多大，这总会发生。怎么知道它必须损失质量呢？即使每个恒星都设法失去足够多的质量以避免坍缩，如果你把更多的质量加在白矮星或中子星上，使之超过极限将会发生什么？它会坍缩到无限密度吗？爱丁顿为此感到震惊，他拒绝相信强德拉塞卡的结果。爱丁顿认为，一颗恒星不可能坍缩成一点。这是大多数科学家的观点：爱因斯坦自己写了一篇论文，宣布恒星的体积不会收缩为零。其他科学家，尤其是他以前的老师、恒星结构的主要权威——爱丁顿的敌意使强德拉塞卡抛弃了这方面的工作，转去研究诸如恒星团运动等其他天文学问题。然而，他获得1983年诺贝尔奖，至少部分原因在于他早年所做的关于冷恒星的质量极限的工作。

强德拉塞卡指出，不相容原理不能够阻止质量大于强德拉塞卡极限的恒星发生坍缩。但

是，根据广义相对论，这样的恒星会发生什么情况呢？这个问题被一个年轻的美国人罗伯特·奥本海墨于1939年首次解决。然而，他所获得的结果表明，用当时的望远镜去观察不会再有任何结果。以后，因第二次世界大战的干扰，奥本海默本人非常密切地卷入到原子弹计划中去。战后，由于大部分科学家被吸引到原子核尺度的物理中去，因而引力坍缩的问题被大部分人忘记了。但在本世纪60年代，现代技术的应用使得天文观测范围和数量大大增加，重新激起人们对天文学和宇宙学的大尺度问题的兴趣。奥本海默的工作被重新发现，并被一些人推广。

现在，我们从奥本海默的工作中得到一幅这样的图像：恒星的引力场改变了光线的路径，使之和原先没有恒星情况下的路径不一样。光锥是表示光线从其顶端发出后在空间——时间里传播的轨道。光锥在恒星表面附近稍微向内偏折，在日食时观察远处恒星发出的光线，可以看到这种偏折现象。当该恒星收缩时，其表面的引力场变得很强，光线向内偏折得更多，从而使得光线从恒星逃逸变得更为困难。对于在远处的观察者而言，光线变得更黯淡更红。最后，当

这恒星收缩到某一临界半径时，表面的引力场变得如此之强，使得光锥向内偏折得这么多，以至于光线再也逃逸不出。根据相对论，没有东西会走得比光还快。这样，如果光都逃逸不出来，其他东西更不可能逃逸，都会被引力拉回去。也就是说，存在一个事件的集合或空间——时间区域，光或任何东西都不可能从该区域逃逸而到达远处的观察者。现在我们将这区域称作黑洞，将其边界称作事件视界。它和刚好不能从黑洞逃逸的光线的轨迹相重合。

当你观察一个恒星坍缩形成黑洞时，为了理解你所看到的情况，切记在相对论中没有绝对时间。每个观测者都有自己的时间测量。由于恒星的引力场，在恒星上某人的时间将和在远处某人的时间不同。假定在坍缩星表面有一无畏的航天员和恒星一起向内坍缩，按照他的表，每一秒钟发一信号到一个绕着该恒星转动的空间飞船上去。在他的表的某一时刻，譬如11点钟，恒星刚好收缩到它的临界半径，此时引力场强到没有任何东西可以逃逸出去，他的信号再也不能传到空间飞船了。当11点到达时，他在空间飞船中的伙伴发现，从航天员发来的一串信号的时间间隔越变越长。但是这个效应在10

点59分59秒之前是非常微小的。在收到10点59分58秒和10点59分59秒发出的两个信号之间，他们只需等待比一秒钟稍长一点的时间，然而他们必须为11点发出的信号等待无限长的时间。按照航天员的手表，光波是在10点59分59秒和11点之间由恒星表面发出；从空间飞船上看，那光波被散开到无限长的时间间隔里。在空间飞船上收到这一串光波的时间间隔变得越来越长，所以恒星的光显得越来越红、越来越淡，最后，该恒星变得如此之朦胧，以至于从空间飞船上再也看不见它，所余下的只是空间中的一个黑洞。然而，此恒星继续以同样的引力作用到空间飞船上，使飞船继续绕着所形成的黑洞旋转。

但是由于以下的问题，使得上述情景不是完全现实的。你离开恒星越远则引力越弱，所以作用在这位无畏的航天员脚上的引力总比作用到他头上的大。在恒星还未收缩到临界半径而形成事件视界之前，这种力差就已经将我们的航天员拉成意大利面条那样，甚至将他撕裂！然而，我们相信，在宇宙中存在质量大得多的天体，譬如星系的中心区域，它们遭受到引力坍缩而产生黑洞；一位在这样的物体上面的航天员

在黑洞形成之前不会被撕开。事实上，当他到达临界半径时，都没注意到。但是，随着该区域继续坍缩，只要在几个钟头之内，作用到他手上和脚上的引力之差会变得如此之大，以至于再将其撕裂。

罗杰·彭罗斯在1965年和1970年之间的研究指出，根据广义相对论，在黑洞中必然存在无限大密度和空间——时间曲率的奇点。这和时间开端时的大爆炸相当类似，只不过它是一个坍缩物体和航天员的时间终点而已。在此奇点，科学定律和我们预言将来的能力都失效了。然而，任何留在黑洞之外的观察者，将不会受到可预见性失效的影响，因为从奇点出发的不管是光还是任何其他信号都不能到达他那儿。这令人惊奇的事实导致罗杰·彭罗斯提出了宇宙监督猜测，它可以被意译为："上帝憎恶裸点。"换言之，由引力坍缩所产生的奇点只能发生在像黑洞这样的地方，在那儿它被事件视界体面地遮住而不被外界看到。严格地讲，这是所谓弱的宇宙的监督猜测：它使留在黑洞外面的观察者不致受到发生在奇点处的可预见性失效的影响，但它对那位不幸落到黑洞里的可怜的航天员却是爱莫能助。

广义相对论方程存在一些解，这些解使得我们的航天员可能看到裸奇点。他也许能避免撞到奇点上去，而穿过一个“虫洞”来到宇宙的另一区域。看来这给空间——时间内的旅行提供了巨大的可能性。但是不幸的是，所有这些解似乎都是非常不稳定的；最小的干扰，譬如一个航天员的存在就会使之改变，以至于他还没能看到此奇点，就撞上去而结束了他的时间。换言之，奇点总是发生在他的将来，而从不会在过去。强的宇宙监督猜测是说，在一个现实的解里，奇点总是或者整个存在于将来（如引力坍缩的奇点），或者整个存在于过去（如大爆炸）。因为在接近裸奇点处可能旅行到过去，所以宇宙监督猜测的某种形式的成立是大有希望的。这对科学幻想作家而言不是错的，它表明没有任何一个人的生命曾经平安无事：有人可以回到过去，在你投胎之前杀死你的父亲或母亲！

事件视界，也就是空间——时间中不可逃逸区域的边界，正如同围绕着黑洞的单向膜：物体，譬如不谨慎的航天员，能通过事件视界落到黑洞里去，但是没有任何东西可以通过事件视界而逃离黑洞。（记住事件视界是企图逃离黑洞的光的空间——时间轨道，没有任何东西可以

比光运动得更快。）人们可以将诗人但丁针对地狱入口所说的话恰到好处地用于事件视界：“从这儿进去的人必须抛弃一切希望。”任何东西或任何人一旦进入事件视界，就会很快地到达无限致密的区域和时间的终点。

广义相对论预言，运动的重物会导致引力波的辐射，那是以光的速度传播到空间——时间曲率的涟漪。引力波和电磁场的涟漪光波相类似，但是要探测到它则困难得多。就像光一样，它带走了发射它们的物体的能量。因为任何运动中的能量都会被引力波的辐射带走，所以可以预料，一个大质量物体的系统最终会趋向于一种不变的状态。（这和扔一块软木到水中的情况相当类似，起先翻上翻下折腾了好一阵，但是当涟漪将其能量带走，就使它最终平静下来。）例如，绕着太阳公转的地球即产生引力波。其能量损失的效应将改变地球的轨道，使之逐渐越来越接近太阳，最后撞到太阳上，以这种方式归于最终不变的状态。在地球和太阳的情形下能量损失率非常小——大约只能点燃一个小电热器，这意味着要用大约 1 千亿亿亿年地球才会和太阳相撞，没有必要立即去为之担忧！地球轨道改变的过程极其缓慢，以至于根本观测

不到。但几年以前，在称为PSR1913+16（PSR表示“脉冲星”，一种特别的发射出无线电波规则脉冲的中子星）的系统中观测到这一效应。此系统包含两个互相围绕着运动的中子星，由于引力波辐射，它们的能量损失，使之相互以螺旋线轨道靠近。

在恒星引力坍缩形成黑洞时，运动会快得多，这样能量被带走的速率就高得多。所以不用太长的时间就会达到不变的状态。这最终的状态将会是怎样的呢？人们会以为它将依赖于形成黑洞的恒星的所有的复杂特征——不仅仅它的质量和转动速度，而且恒星不同部分的不同密度以及恒星内气体的复杂运动。如果黑洞就像坍缩形成它们的原先物体那样变化多端，一般来讲，对之作任何预言都将是非常困难的。

然而，加拿大科学家外奈·伊斯雷尔（他生于柏林，在南非长大，在爱尔兰得到博士）在1967年使黑洞研究发生了彻底的改变。他指出，根据广义相对论，非旋转的黑洞必须是非常简单、完美的球形；其大小只依赖于它们的质量，并且任何两个这样的同质量的黑洞必须是等同的。事实上，它们可以用爱因斯坦的特解来描述，这个解是在广义相对论发现后不久的

1917 年由卡·施瓦兹席尔德发现的。一开始，许多人（其中包括伊斯雷尔自己）认为既然黑洞必须是完美的球形，一个黑洞只能由一个完美球形物体坍缩而形成。所以，任何实际的恒星——从来都不是完美的球形——只会坍缩形成一个裸奇点。

然而，对于伊斯雷尔的结果，一些人，特别是罗杰·彭罗斯和约翰·惠勒提倡一种不同的解释。他们论证道，牵涉恒星坍缩的快速运动表明，其释放出来的引力波使之越来越近于球形，到它终于静态时，就变成准确的球形。按照这种观点。任何非旋转恒星，不管其形状和内部结构如何复杂，在引力坍缩之后都将终结于一个完美的球形黑洞，其大小只依赖于它的质量。这种观点得到进一步的计算支持，并且很快就为大家所接受。

伊斯雷尔的结果只处理了由非旋转物体形成的黑洞。1963 年，新西兰人罗伊·克尔找到了广义相对论方程的描述旋转黑洞的一族解。这些“克尔”黑洞以恒常速度旋转。其大小与形状只依赖于它们的质量和旋转速度。如果旋转为零，黑洞就是完美的球形，这解就和施瓦兹席尔德解一样，如果有旋转，黑洞的赤道附近就鼓

出去（正如地球或太阳由于旋转而鼓出去一样），而旋转得越快则鼓得越多。由此人们猜测，如将伊斯雷尔的结果推广到包括旋转体的情形，则任何旋转物体坍缩形成黑洞后，将最终终结于由克尔解描述的一个静态。

1970 年，剑桥的一位教授和研究生同学布登·卡特为证明此猜测跨出了第一步。他指出，假定一个隐态的旋转黑洞，正如一个自旋的陀螺一样，有一个对称轴，则它的大小和形状，只由它的质量和旋转速度所决定。然后在 1971 年有人证明了，任何稳态旋转黑洞确实有这样的一个对称轴。最后，在国王学院任教的大卫·罗宾逊利用卡特等人的结果证明了这猜测是对的：这样的黑洞确实必须是克尔解。所以在引力坍缩之后，一个黑洞必须最终演变成一种能够旋转、但是不能搏动的态。并且它的大小和形状，只决定于它的质量和旋转速度，而与坍缩成为黑洞的原先物体的性质无关。此结果以这样的一句谚语表达而成为众所周知："黑洞没有毛。""无毛"定理具有巨大的实际重要性，因为它极大地限制了黑洞的可能类型。所以，人们可以制造可能包含黑洞的物体的具体模型，再将此模型的预言和观测相比较。因为在黑洞形成

之后，我们所测量的只是有关坍缩物体的质量和旋转速度，所以“无毛”定理还意味着，有关这物体的非常大量的信息，在黑洞形成时损失了。

黑洞是科学史上极为罕见的情形之一，在没有任何观测到的证据证明其理论是正确的情形下，作为数学的模型被发展到非常详尽的地步。的确，这经常是反对黑洞的主要论据：你怎么能相信一个其依据只是基于令人怀疑的广义相对论的计算的对象呢？然而，1963 年，加利福尼亚的帕罗玛天文台的天文学家马丁·施密特测量了在称为 3C273（即是剑桥射电源编目第三类的 273 号）射电源方向的一个黯淡的类星体的红移。他发现引力场不可能引起这么大的红移——如果它是引力红移，这类星体必须具有如此大的质量，并离我们如此之近，以至于会干扰太阳系中的行星轨道。这暗示此红移是由于宇宙的膨胀引起的，进而表明此物体离我们就非常远。由于在这么远的距离还能被观察到，它必须非常亮，也就是必须辐射出大量的能量。人们会想到，产生这么大量能量的唯一机制看来不仅仅是一个恒星，而是一个星系的整个中心区域的引力坍缩。人们还发现了许多其他

类星体，它们都有很大的红移。但是它们都离开我们太远了，所以对之进行观察太困难，以至于不能给黑洞提供结论性的证据。

1967 年，剑桥的一位研究生约瑟琳·贝尔发现了天空发射出无线电波的规则脉冲的物体，这对黑洞的存在的预言带来了进一步的鼓舞。起初贝尔和她的导师安东尼·赫维许以为，他们可能和我们星系中的外星文明进行了接触！在宣布他们发现的讨论会上，他们将这四个最早发现的源称为 LGM1－4，LGM 表示“小绿人”（Little Green Man”）的意思。然而，最终他们和所有其他人都得到了不太浪漫的结论，这些被称为脉冲星的物体，事实上是旋转的中子星，这些中子星由于它们的磁场和周围物质复杂的相互作用，而发出无线电波的脉冲。这对于写空间探险的作者而言是个坏消息，但对于我们这些当时相信黑洞的少数人来说，是非常大的希望——这是第一个中子星存在的证据。中子星的半径大约 10 英里，只是恒星变成黑洞的临界半径的几倍。如果一颗恒星能坍缩到这么小的尺度，预料其他恒星会坍缩到更小的尺度而成为黑洞，就是理所当然的了。

按照黑洞定义，它不能发出光，我们何以希

望能检测到它呢？这有点像在煤库里找黑猫。庆幸的是，有一种办法。正如约翰·米歇尔在他1783年的先驱性论文中指出的，黑洞仍然将它的引力作用到它周围的物体上。天文学家观测了许多系统，在这些系统中，两颗恒星由于相互之间的引力吸引而互相围绕着运动。他们还看到了，其中只有一颗可见的恒星绕着另一颗看不见的伴星运动的系统。人们当然不能立即得出结论说，这伴星即为黑洞——它可能仅仅是一颗太暗以至于看不见的恒星而已。然而，有些这种系统，例如叫做天鹅X－1的，也刚好是一个强的X射线源。对这现象的最好解释是：物质从可见星的表面被吹起来，当他落向不可见的伴星之时，发展成螺旋状的轨道（这和水从浴缸流出很相似），并且变得非常热而发出X射线。为了使这机制起作用，不可见物体必须非常小，像白矮星、中子星或黑洞那样。从观察那颗可见星的轨道，人们可推算出不可见物体的最小的可能质量。就天鹅X－1的情形，不可见星大约是太阳质量的6倍。按照强德拉塞卡的结果，它的质量太大了，既不可能是白矮星，也不可能是中子星。所以看来它只能是一个黑洞。

现在，在我们的星系中和邻近两个名叫麦

哲伦星云的星系中，还有几个类似天鹅X—1的黑洞的证据。然而，几乎可以肯定，黑洞的数量比这多得太多了！在宇宙的漫长历史中，很多恒星应该已经烧尽了它们的核燃料并坍缩了。黑洞的数目甚至比可见恒星的数目要大得相当多。单就我们的星系中，大约总共有1千亿颗可见恒星。这样巨大数量的黑洞的额外引力就能解释为何目前我们星系具有如此的转动速率，单是可见恒星的质量是不够的。我们还有某些证据说明，在我们星系的中心有大得多的黑洞，其质量大约是太阳的10万倍。星系中的恒星若十分靠近这个黑洞时，作用在它的近端和远端上的引力之差或潮汐力会将其撕开，它们的遗骸以及其他恒星所抛出的气体将落到黑洞上去。正如同在天鹅X—1情形那样，气体将以螺旋形轨道向里运动并被加热，虽然不如天鹅X—1那种程度会热到发出X射线，但是它可以说明在星系中心观测到的非常紧致的射电和红外线源。

人们认为，在类星体的中心是类似的、但质量更大的黑洞，其质量大约为太阳的1亿倍。落入此超重的黑洞的物质能提供仅有的足够强大的能源，用以解释这些物体释放出的巨大能量。

当物质旋入黑洞，它将使黑洞往同一方向旋转，使黑洞产生一个类似地球上的磁场。落入的物质会在黑洞附近产生能量非常高的粒子。该磁场是如此之强，以至于将这些粒子聚焦成沿着黑洞旋转轴，也即它的北极和南极方向往外喷射的射流。在许多星系和类星体中确实观察到这类射流。

人们还可能考虑存在质量比太阳小很多的黑洞的可能性。因为只有它们的质量比强德拉塞卡极限低，所以不能由引力坍缩产生：这样小质量的恒星，甚至在耗尽了自己的核燃料之后，还能支持自己对抗引力。只有当物质由非常巨大的压力压缩成极端紧密的状态时，这小质量的黑洞才得以形成。一个巨大的氢弹可提供这样的条件：物理学家约翰·惠勒曾经算过，如果将世界海洋里所有的重水制成一个氢弹，则它可以将中心的物质压缩到产生一个黑洞。（当然，那时没有一个人可能留下来去对它进行观察！）更现实的可能性是，在极早期的宇宙的高温和高压条件下会产生这样小质量的黑洞。因为只有一个比平均值高更紧密的小区域，才能以这样的方式被压缩形成一个黑洞。所以当早期宇宙不是完全光滑的和均匀的情形，这才有

可能。但是我们知道，早期宇宙必须存在一些无规性，否则现在宇宙中的物质分布仍然会是完全均匀的，而不能结块形成恒星和星系。

很清楚，导致形成恒星和星系的无规性是否导致形成相当数目的“太初”黑洞，这要依赖于早期宇宙的条件的细节。所以如果我们能够确定现在有多少太初黑洞，我们就能对宇宙的极早期阶段了解很多。质量大于10亿吨（一座大山的质量）的太初黑洞，可由它对其他可见物质或宇宙膨胀的影响被探测到。然而，黑洞根本不是真正黑的，它们像一个热体一样发光，它们越小则发热发光得越厉害。所以看起来荒谬，而事实上却是，小的黑洞也许可以比大的黑洞更容易地被探测到。



透视宇宙的第三只眼

新的发现

在没有发明望远镜以前，人们只能凭借双眼观察天空。那时候，人们看到的宇宙是十分有限的。当伽利略第一次把望远镜指向太空，便标志着天文学的发展从此进入了一个新的时代。在望远镜里，人们惊讶的发现，明亮的月球表面布满凹凸的不平的山脉和平原，耀眼的太阳上竟有黑点（太阳黑子），木星也有自己的卫兵（卫星），茫茫的银河是由数以万颗闪烁的恒星组成……在望远镜里，我们熟悉的天空一下子变得复杂起来，许多我们用眼睛不曾见过的陌生天体呈现在我们眼前。原来，寂寞的

宇宙竟然也是一个多姿多彩、绚丽斑斓的世界。天文望远镜的问世在天文学的发展上引起了一次飞跃，它就像为天文学家安上了第三只眼睛——能够洞察宇宙深处奥秘的眼睛，使人类探测到的宇宙空间不断地扩大。

关于望远镜的发明有许多传奇故事，其中一个广为流传的故事说：大约在17世纪，荷兰有一位眼镜制造商，名字叫汉斯·里帕斯。他有一个贪玩的徒弟。每当他不在家时，徒弟乘师傅外出之际，拿起一片凸透镜和一片凹透镜，这两片镜子的形状引起了他的兴趣，于是，他试着把两片镜子叠在一起，然后放在眼前观赏景物。当他通过组合镜片窥视远方时，他吃惊地看到，远处的东西变得又近又大，当里帕斯回来后，徒弟把这一发现告诉了他，里帕斯立即意识到，这是一个十分重要的发现。他配备了一根金属管，一头嵌了一片凸透镜，一头嵌了一片凹透镜，这样，一个小望远镜就诞生了。

意大利天文学家伽利略听到有关望远镜的发明后，经过认真思考，独自创造出了自己的望远镜。伽利略的第一架望远镜是用一根直径为4.2厘米的铅管制成，管的一端装上一片凸透镜，另一端固定一片凹透镜。观测时，凹透镜靠

近眼睛，称为“目镜”；凸透镜靠近观测物，称为“物镜”。当他用自制的望远镜观测远方的物体时，远处的物体看上去就像近在眼前。1609年一个晴朗无云的夜晚，伽利略把他的望远镜对准了月亮，这是一个伟大的创举——在望远镜里，他发现皎洁的月球表面并不是平坦光滑的，整个月面竟然覆盖着起伏不平的高山和平原，还有无数大大小小像火山口样的环形山。这个发现使伽利略兴奋极了。这是人类第一次如此清晰、如此真实地看到月球的本来面目。他按捺不住激动的心情，情不自禁地欢呼起来。根据观测，伽利略亲手绘制了世界上第一幅月面图。

1610年1月，伽利略又用他的望远镜发现了木星的四颗卫星，这四颗卫星被命名为伽利略卫星。以后，他又发现了金星的位相、太阳黑子……这些前所未有的新发现，在人类探索宇宙的征程上揭开了激动人心的一页。伽利略发明的天文望远镜开创了天文观测的新纪元。

天文望远镜的性能

天文望远镜是现代天文学最基本的观测仪器，也是广大天文爱好者必备的观测工具。

天文望远镜的光学系统

根据物镜的结构不同，天文望远镜大致可以分为三大类：以透镜作物镜的，称为折射望远镜；用反射镜作物镜的，称为反射望远镜；既包含透镜，又有反射镜的称为折反射望远镜。往往有的天文爱好者买了一块透镜，以为这就解决了望远镜的物镜问题。其实，一块透镜成像会产生像差，现在，正规的折射天文望远镜的物镜大都由2－4块透镜组成。相比之下，折射和折反射望远镜用途广，使用方便，比较适合青少年爱好者应用。

反射望远镜的光路可分为牛顿系统和卡塞格林系统等。一般说来，对天文普及工作，特别是对观测经验不足的爱好者来说，牛顿式反射望远镜使用起来不太方便，其物镜又需经常镀膜，维护起来也麻烦。折反射望远镜是由透镜和反射镜组成。天体的光线要受到折射和反射。这类望远镜具有光力强、视场大和能消除几种主要像差的优点。这类望远镜又分施密特系统、马克苏托夫系统和施密特—卡塞格林系统等。根据我们多年实际应用的经验，中国科学院南京天文仪器厂生产的120折反射天文望远镜对于广大天文爱好者来说，是一种既方便又实用的

仪器

天文望远镜的光学性能

在天文观测的对象中，有的天体有视面，有的没有可分辨的视面；有的天体光极强，有的又特别微弱；有的是自己发光，有的是反射光。观测者应根据观测目的，选用不同的望远镜，或采用不同的方法进行观测。一般说来，普及性的天文观测多属于综合性的，要考虑“一镜多用”。选择天文望远镜时，一定要充分了解它的基本光学性能。

口径——指物镜的有效直径，常用D来表示；相对口径——指物镜的有效口径和它的焦距之比，也称为焦比，常用A表示，即A=D/F。一般说来，折射望远镜的相对口径都比较小，通常在1/5－1/20，而反射望远镜的相对口径都比较大，通常在1/3.5－1/5。观测有一定视面的天体时，其视面的光线强弱和F成正比，其面积与F^2成正比。像的光度与收集到的光量成正比，即与F^2成反比。

放大率——指目视望远镜的物理量，即角度的放大率，它等于物镜焦距和目镜焦距之比。不少人提到天文望远镜时，首先考虑的就是放大倍率。其实，天文望远镜和显微镜不一样，地面

天文观测的效果如何，除仪器的优劣外，还受地球大气的明晰度和宁静度的影响，受观测地的环境等诸因素的制约。而且一架天文望远镜有几个不同焦距的目镜，也就是有几个不同的放大倍率可用。观测时，绝不是以最大倍率为最佳，而应以观测目标最清晰为准。

分辨角——指望远镜能够分辨出的最小角距。目视观测时，望远镜的分辨角 δ=140（角秒）/D（mm），D 为物镜的有效口径。

视场——指天文望远镜所见的星空范围的角直径。

贯穿本领——指在晴朗的夜晚，望远镜在天顶方向能看到最暗弱的恒星等。贯穿本领主要和望远镜的有效口径有关。例如，南京天文仪器厂生产的 120 折反射天文望远镜的光学性能为：主镜的有效口径为 120mm，焦距为 1500mm，相对口径为 1/12.5，目镜放大倍率有：37.5 倍，60 倍，100 倍，200 倍，理论分辨角为 1″-2″，目视极限星等为 12 等，视场小于 1°。它的寻星镜物镜有效口径为 35mm，焦距为 175mm，放大率为 7 倍，视场为 5°。

天文望远镜的目镜

当人们了解了天文望远镜的基本光学性能

以后，有人往往只注意物镜，而忽视了作为望远镜终端设备之一的目镜。其结果常常使再好的望远镜也不能充分发挥应有的本领，只能望天兴叹

天文望远镜的目镜主要有两个作用：其一，将物镜所成的像放大，这对于观测有视面的天体和近距双星是十分重要的；其二，使出射光束为平行光，使观测者观测起来舒适省力。目镜的种类很多，比较常用的有：惠更斯目镜，用字母 H 表示，MH 或 HM 表示惠更斯目镜的改进型，这类目镜适用于低倍率或中倍率的观测。冉斯登目镜，以字母 R 表示，适用于装有十字丝或标尺的目镜，用于低倍率或中倍率的测量性观测。消除了冉斯登目镜的色差，这种目镜，视场大，通常用在低倍率观测上，如彗星或大面积的天体。斯坦海尔的单心目镜，蔡斯的无畸变目镜，阿贝无畸变目镜，希克无畸变目镜都用在高放大率的观测上，如对行星或月球表面细节的观测等。

一架天文望远镜应备有多种目镜，这样便于不同的观测，也才能最大限度地发挥它应有的作用。曾见到的这样一个情况：某部门从国外订购一架较好的天文望远镜，但是只有两个目

镜。可是说明书中介绍它有多种目镜。为什么只有两个目镜呢？卖方说，买方订货时没写明。这是一个教训。因此，订购天文望远镜时，事前一定要充分做好调研，有完整可靠的信息，有比较内行的人把关，认真审核好订货程序才行。

寻星镜和导星镜

天文望远镜的主镜担负着观测的主角。但是，许多天文观测不是光靠主镜就能全部顺利完成了。它也需要有助手，这就是寻星镜或导星镜。

为了能迅速地搜寻到待观测的天体，常常在主镜旁附设一个小型天文望远镜，它就是寻星镜。寻星镜一般都采用折射式的天文望远镜。它的光轴与主镜光轴平行，这样才能保持与主镜的目标一致。寻星镜物镜的口径一般在5—10厘米左右，视场在3°—5°左右，放大率在7—20倍左右，焦平面处装有供定标用的分划板。观测时，先用寻星镜找到待观测的天体，将该天体调到视场中央。这时，该天体自然也就在主镜视场中央。

主镜在进行较长时间的观测时，为了及时纠正跟踪中的误差，在主镜旁设一个起监视作用的望远镜，它就叫导星镜。一般天文爱好者用

的望远镜是用寻星镜代替了导星镜。

天文望远镜的装置与跟踪

一架理想的天文望远镜不仅应有优良的光学系统，还必须解决好一系列机械结构问题。比如说，镜筒如何架起来呢？为了能观测到地平上任意天体，根据对轴线方向的选择不同，通常天文望远镜的装置分为两大类：地平装置和赤道装置。在地平装置中，镜筒沿垂直轴变化时表示的是天体的地平经度，沿水平轴变化时，表示的是天体地平纬度。由于天球的周日视运动，天体在地平坐标中，两个量都随时而变，表示的只是瞬时位置。因此，一般说来，地平装置不便于较长时间的连续观测。

赤道装置就解决了这个问题。它的一个轴和天轴平行，叫极轴。另一个轴和极轴垂直，叫赤纬轴。当镜筒绕极轴旋转时，这是视角的变化，绕赤纬轴旋转时，是赤纬变化。天体的赤纬不随周日视运动而变化，是常量。因此，只要使镜筒跟随着天体绕极轴运动即可达到使天体保持在视场内的目的。这就是跟踪天体的基本原理。显然，这就是克服由地球自转引起的相对位置变化。地球以每 4 分钟 1°的速度由西往东自转着，跟踪天体也应以每 4 分钟 1°的匀速从东

往西绕极轴运动。如何使镜筒这样转动呢？驱动跟踪装置的机械系统叫转仪钟。本世纪以前的转仪钟，其动力靠链条式的重锤或发条提供，转仪钟的速度靠离心调整器来控制。现在转仪钟的动力靠马达带动，速度由天文钟或无线电振荡器来控制。导星就是弥补转仪钟在跟踪中出现的误差。可见，对于天文爱好者的天文观测来说，天文望远镜最好是能跟踪天体的赤道装置。

注意事项

完整的天文望远镜是由光机电组成的精密的光学仪器，要遵守使用规则，加强维护；赤道装置的极轴应调到观测地的纬度，并在子午面内；天文望远镜的调焦是十分重要的，注意人差和方法差；观测环境引起的小气候不容忽视；观测时，应使望远镜总处在各向平衡的状态之中。

天文望远镜的种类

天文望远镜的构成

天文望远镜开阔了人们的眼界，把越来越多不曾为人类所知的宇宙奥秘展现在人们眼前，这些层出不穷的新发现激励着天文学家们

研制出更精密、更有效的大型望远镜。从第一架望远镜诞生到现在不到400年的时间里，天文望远镜获得了巨大的发展，从一定意义上讲，天文学的发展史，也可说是一部天文仪器的改革史。

最早发展起来的是天文光学望远镜，也就是我们通常所指的天文学望远镜。光学望远镜是用来接收天体发出的可见光的，实际上，天体不仅发出可见光，还发出无线电波、红外光、紫外光、X射线、γ射线等，这些统称为天体的辐射。我们人眼只能接收可见光，虽然它只占天体辐射的很少的一部分，但是它带给人类最易接受、最为直观的宇宙信息。

一架天文望远镜主要由三部分组成：物镜、目镜和跟踪系统。物镜是天文望远镜光学部分的主体，它主要有两个作用：一是把遥远的天体在近处成像，二是大量收集由天体发出的（或反射的）光辐射。衡量一架望远镜性能的标准，主要看物镜的成像质量和它的有效直径。它的直径越大，收集星光的本领越强，能够观测到的星等越暗，可以看到的天体就越多，现在，用大型望远镜可以观测到的最暗星达25等。目镜的作用是把物镜成的天体像放大并把出射光变为平

行光，以便观测。由于地球不停地自转，天体都有周日视运动，如果望远镜本身不动，被观测的天体很快就会“走”出望远镜的视场。跟踪装置能使望远镜以地球自转的速度匀速反方向运转，这样，就可以保持望远镜始终对准某一个天体，对它进行长时间跟踪观测。下面介绍几种常用的天文望远镜。

折射望远镜

折射望远镜是用折射透镜作为物镜。伽利略望远镜就是一种最简单的折射望远镜。这种望远镜用凹透镜作目镜，成的像是正像，但是视场较小，不便于观测。德国天文学家开普勒认真仔细地研究了伽利略望远镜的成像和放大原理，改进了它的不足，研制出一种有独到创新的望远镜，这就是后来被广泛应用于天文观测的“开普勒望远镜”。

与伽利略望远镜不同，开普勒望远镜采用凸透镜作目镜，与长焦的物镜相配合。当来自天体的光线经过物镜折射汇聚于一点，相互交叉后又重新发散开来，全部光线的排列顺序都颠倒了。因此通过目镜后所成的像是“倒像”。对天文学家来说，天体的正像、倒像并不影响对它的观测，而开普勒望远镜能获得较大的视场，放

大倍率也高于伽利略望远镜，观测起来比较方便。因此17世纪以后，折射望远镜基本上采用开普勒望远镜的结构。首先正式使用开普勒望远镜进行观测的是一位意大利天文学家，他观测到了木星的横带和火星模糊不清的斑纹。

随着观测精度的提高，折射望远镜碰到了一个在当时难以解决的问题——望远镜的像差。从理论上讲，当天体的光通过透镜后，应该呈现一个清晰、完善的像，但实际上得到的像并不像理论上那样理想，这就是望远镜的像差。造成像差的原因很多，例如，由于凸透镜各部分对一束来自天体的平行光屈折程度不同，使从透镜中心附近入射的光线和从透镜边缘入射的光线并不会聚在完全相同的点上。因此得到的像不是一个清晰的点而是一个略微扩展的圆斑。开普勒把这种像差称做“球差”。除了“球差”外，还有“色差”，它使望远镜成的像周围会出现一种五彩缤纷的彩环，就像肥皂泡在太阳光下呈现出的七彩花纹一样，它使图像更加模糊。另外还有彗差、像散、畸变等像差。

尽管当时对有些望远镜像差的原因还不十分清楚，但是天文学家们还是想尽办法，最大限度地消除像差带来的弊病。他们采用了减小球

面透镜弯曲度的办法，让经过透镜的光尽可能在远离透镜的地方汇聚。这样一来，物镜和目镜之间的距离就拉得很长，因此，开普勒望远镜逐渐变得又细又长，成为一种长镜。

在17世纪中叶，这种不断增加折射望远镜长度的方法，在当时似乎是唯一一种提高望远镜观测精度的途经。荷兰天文学家惠更斯制造一架3.7米长的望远镜，并用它发现了土星光环、土星的第二颗卫星等。意大利天文学家卡西尼利用这种长镜身望远镜获得了许多重大发现，如土星的四颗新卫星、土星光环的裂缝，木星上的“大红斑”，并精确测量了火星的视差，确定出了地球到太阳的平均距离。为了得到更高精度的观测数据，人们竞赛般地将望远镜镜身愈做愈长。当时最长的一架望远镜长达46米，竖起来有现在的12层大楼那么高，使用时必须把它的一端吊在90英尺高的桅杆上进行工作。还有一种叫作架空望远镜，干脆把镜筒去掉，把物镜装入金属管，安入在一根高高的桅杆上，目镜放入另一根管里，架在一个木支座上，对天体进行观测。

18世纪初，英国一个科学家研究出了消色差透镜，它由不同种类的玻璃磨制出凸透镜和

凹透镜组合而成。这种渤海色差透镜，使濒于末日的折射望远境又获得了新生。现代折射望远镜的物镜采用两块、甚至四块的透镜组合，可以有效地消除各种像差。

目前世界上最大的折射望远镜口径达 102 厘米，安放在美国叶凯干（Yerkes）天文台使用。

空间望远镜

空间望远镜是用宇宙飞行器运送到大气层以外空间进行天文观测的光学望远镜。地球上面覆盖着一层厚厚的空气，空气对于人类和其他生物的生存是十分必要的。但对于天文观测，则是很大的妨碍。由于空气的干扰，会影响星像的质量。另外，它还要吸收光线，使很多紫外光和其他光线达不到地面而被吸收。这对于了解宇宙世界，研究天体问题都是很不利的。还有由于地球吸引力的影响，会使望远镜变形。而城市的灯光使很多暗弱的天体观测不到。所以很早就有人想把望远镜送到空间进行观察，以避免以上的各种干扰。自从人造卫星上天以后，人们的这种愿望实现了。现在已经有不少红外望远镜、紫外望远镜以及研究高能射线的其他望远镜设备等，都已用人造卫星或其他宇宙飞行器送入空间进行工作，并取得了丰硕的成果。送人

空间工作的望远镜制造要求比地面望远镜高得多。例如，镜面要很光洁，机械和其他测试设备要有足够的刚度和强度，份量又要轻，还要有精密的遥控装置，因此，它也是一项各种科学技术和理论研究的综合性成果。

反射望远镜

反射望远镜是一种以反射镜作物镜的天文望远镜。望远镜的口径愈大，愈能看到暗弱的星星。做一架大口径的折射望远镜是困难的。但用反射镜代替透镜作为望远镜的物镜，情况就不同了。反射镜对玻璃质量的要求比透镜低，所以可以做得很大。在反射镜的镜面都镀上铝或银，不仅可以在可见光区域观测，还可以在紫外光和红外光区域进行观测。反射望远镜的形式，主要有两种：（1）牛顿式反射望远镜，是英国科学家牛顿于1668年所发明。它是用一个平面镜将由反射物镜反射来的星光转一个90°方向，在望远镜镜筒旁边成像。（2）卡塞格林反射望远镜，是法国物理学家卡塞格林于1672年发明。它是用一个凸面镜将由反射物镜反射来的星光，返回到反射物镜的中央区域，然后通过在反射物镜中央的小圆孔射出，在接收设备或目镜上成像。现今天文台里使用的大型天文望远镜，大多

是反射望远镜。

在反射望远镜的发展过程中，有许多天文学家为它贡献出了全部的智慧和毕生的心血，他们那种孜孜不倦的进取精神和坚韧不拔的顽强毅力，永远值得人们称颂、记取。英国天文学家威廉·赫歇耳35岁时开始磨制望远镜的工作，从此他把自己毕生的精力都投入到这项事业之中。在磨制第一块镜片时，他常常一连几小时不停手。有一次，竟连续磨了16个小时，他妹妹伴在他的身边，读书给他听，喂东西给他吃。凭着这股顽强的毅力，他为自己磨制成了第一块直径为15厘米的反射镜，并用它做成了一架长2.1米、可放大49倍的牛顿式反射望远镜。用这架望远镜，赫歇耳发现了太阳系的第七颗大行星——天王星。

赫歇耳在他的一生中，磨制了数百架望远镜，最大的一架口径达122厘米，镜筒长12.2米，并且取得了众多的观测成果，他不愧为历史上一位杰出的全能天文学家。

19世纪中叶，一位出身显赫的英国天文学家罗斯伯爵，用自己的热情和家产磨制成了直径达184厘米的大反射望远镜。罗斯的这架望远镜，从1882年开始制造到1885年完成，其

间经历了三个年头，四次失败，耗资达 12000 英镑。罗斯用这架望远镜发现了漩涡状星云和蟹状星云。

反射望远镜发展到今天，已成为现代天文观测的日常工具。架于高加索山脉上的前苏联科学院的 6 米反射望远镜，口径之大曾经位居世界第一，如今，它的地位已被美国的 10 米克望远镜所替代。安装在美国加利福尼亚州的帕洛马山天文台的 608 反射望远镜是美国天文学家海耳（G. E. Hale）设计的，这一巨大的工程从 1928 年开始，直到 1948 年才正式交付使用。它的设计师海尔没有看到这架巨大的望远镜完成就去世了，海尔的继承者艾拉 · S · 包文继续这项工程，他以顽强的意志和严谨的精神使这架望远镜成为全世界望远镜中的佼佼者。这架望远镜以海耳的名字命名。

射电望远镜

身电望远镜又称“无线电望远镜”，是 20 世纪 40 年代发展起来的一种新型天文观测工具。射电望远镜包括天线、高灵敏度接收机、信息记录设备、记时系统等几大部分。天线的作用类似光学望远镜的物镜，用以收集来自天体的无线电波辐射；高灵敏度接收机的作用，则是在预定

的频率范围内，把天线所收到的从天体来的微弱的辐射信号，从噪声中挑选出来，加以放大后送到信息记录设备中去；信息记录设备则是贮存记录或显示各种遥远天体发来的射电信息，以供天文学研究之用。

射电望远镜不受天气条件的限制，无论刮风下雨，也不管是白天黑夜，都能进行工作，获取天体在无线电波段所蕴藏着的大量信息，以及光学望远镜无法看到的宇宙尘埃粒子。自射电望远镜诞生以来，它已在天文学研究中发挥了巨大的威力，如20世纪60年代天文学上四大发现——脉冲星、类星体、星际有机分子和微波背景辐射，都是借助射电望远镜观测到的。人们为了征服电离层对射电观测的限制和干扰，发挥射电望远镜更大作用，自1963年以来，已有多次把射电望远镜送入空间进行观测，从而开创了空间射电望远镜观测的时代。目前，世界上最大的可动式射电望远镜是德国的直径为100米的抛物面天线射电望远镜。

最早建成的一架大型射电望远镜在英国曼彻斯特的焦德雷尔班克实验站，它的可以旋转的抛物面天线直径达76米。建造这架望远镜用了近10年的时间，花费了近百万英镑，终于在

1955年建成。1957年苏联发射第一颗人造地球卫星后，这架刚刚问世不久的大型射电望远镜对这颗人造卫星进行了跟踪。在当时，它是唯一具有足够高的灵敏度能够接收到苏美空间探测器信号的天文仪器。它也因此而闻名于世。在这架望远镜建成的同时，许多国家也竞相建造了大小不同、形式各异的射电望远镜。20世纪60年代以后，美国、澳大利亚、加拿大等国家相继建成了直径在40米以上的大型射电望远镜天线，世界上最大的直径为336米的球面射电望远镜也在这一时期建成。由于改进了射电望远镜天线的设计，1971年在德国建成了一架直径为100米的全可动盘状抛物面天线，它是目前世界上最大的一架全可动抛物面天线。

随着射电技术的发展和不断提高，天文学家们研究成功了射电干涉仪、甚长基线干涉仪、综合孔径射电望远镜等具有高分辨率、高灵敏度的新一代射电望远镜。英国射电天文学家赖尔（M·Ryle）因研究成功综合孔径技术，为射电天文学的发展做出重要贡献而成为1974年诺贝尔奖金的获得者。

20世纪60年代，在射电天文学这一领域里，取得了辉煌的成果。60年代的四大天文发

现：类星体、脉冲星、星际分子和微波背景辐射，都是用射电手段观测到的。这一列令人震惊的发现，表明射电天文学不仅向人们提供已经认识到的宇宙的新情况，而且开始揭示宇宙中从没有意识到的那些神密体的存在了。它为古老的天文学开创了一个崭新的时代。

天文望远镜的制作

简论

深邃无垠的星空，不断地吸引着一代代的天文爱好者。17世纪初，当伽俐略第一次将望远镜用于天文学，就在很短的时间内获得了许多激动人心的观测结果：月亮并非那么皎洁无瑕，而是有山脉、平原和坑穴；木星周围有四颗卫星在绕转；太阳黑子；金星的位相；以及银河并不像以往人们设想的那样为一条“发光流体”之河，而是由一颗一颗恒星构成的庞大集合体。纵观天文学史，不少著名的天文爱好者从对日月星辰的兴趣，发展到对天文望远镜的兴趣，而后通过望远镜不断地发现新的宇宙天体，最终成为对人类有杰出贡献的伟大科学家。直到今天，天文学家们仍在为研制新一代望远镜而不

断努力着。

值得注意的是，历史上不少重要的天文发现出自业余天文学爱好者，特别是他们使用了自制的天文望远镜或自己改装的望远镜。寻找新彗正和小行星，观测太阳黑子、月面、金星、火星、木星及其卫星和土星光环，为行星和星空摄影等仍是现代广大业余爱好者热衷的天文活动内容。由于市场上天文望远镜价格昂贵，而且有些望远镜光学性能并不理想，满足不了业余天文观测者的要求，出于科学的爱好和追求，更被那神奇美妙的星空所吸引，许多人想自己动手制作天文望远镜。这一章的内容天上好满足他们的愿望和要求，其主要内容是根据以下资料编写的：

(1)《天文爱好者的望远镜》，上海科学技术出版社 1958 年出版；

(2)《天文望远镜》，上海少年儿童出版社 1960 年出版；

(3)《反射望远镜》，科学出版社 1985 年出版；

(4)《天文爱好者望远镜的制作》，科学普及出版社 1988 年出版；

(5)《青少年科技活动全书·天文分册》，中

国青年出版社 1985 年出版；

(6)《天文爱好者》杂志 1964、1978、1982 和 1989 年各年合订本，北京天文馆《天文爱好者》杂志社出版。

文章的宗旨在于帮助国内业余天文爱好者在自制望远镜的工作中，增长自己的知识，推动国内业余天文活动的发展。

必备的知识

业余爱好者自制天文望远镜，应当掌握一些基本的光学知识，诸如掌握光的直线传播定律、反射定律和折射定律以及几何光学基本原理，这在一般物理学教科书中不难查找。一般天文望远镜聚光成像的方式，可分为“折射式”、“反射式”、“折反射式”等多种类型。

当年伽利略的望远镜是很简单的一只有一个细长的圆筒，在一端装一块凸薄透镜作为物镜，在另一端装一块短焦距凹透镜作为目镜，他的望远镜最终达到了约 32 倍放大率，是当时技术水平最高的。伽利略式望远镜的主要缺点是它的视场小，故以后德国天文学家开普勒建议使用凸透镜作为目镜。这种改进不但可以加大望远镜的视场；而且还可以在目镜焦平面上安装刻度玻璃，正是这种望远镜可以直接用来测

定天体的位置，由此大大提高了天文望远镜的性能。

望远镜的目径（也称有效目径，常以符号D表示）是指其物镜未被遮掩，真正起集光作用部分的直径。一般说来，口径越大，星像越亮，或者说能见到越暗弱的天体，在拍摄恒星时，需要的暴光时间也越短。相对口径是反映望远镜聚光本领的指标，它通常又称为光力，以A作符号，它等于物镜的口径D同物镜的焦距F的比，即A＝D/F，在观测行星、彗星和星云之类有视面天体时，重要的不是有效口径，而是相对口径。折射望远镜的相对口径很少能超过1/7的，反射望远镜一般为1/3—1/5。为使在望远镜中观察到的天体更明亮些，需要用口径较大的凸透镜作物镜。但是在简易望远镜里却不能单纯地追求增大口径，因为单透镜不能避免各种像差，在一定焦距的情况之下，口径越大，像差也就越大。如选取物镜的焦距为1米左右，那么物镜的口径没有必要超过50毫米，否则就要求选用更长的焦距。前面已提到，物镜的焦距越长，放大倍率越大，但视场会越狭小，这样会为寻找观测目标带来很大困难。

目镜实际上是用一块放大镜来充当的，放

大镜的放大倍数是考虑到一般人眼睛的明视距离大约是250毫米而推算出来的。如果放大镜的焦距也用毫米为单位，用M表示放大镜的放大倍数，由公式M＝250/f可以算出，5倍的放大镜，焦距f为50毫米；8倍的放大镜，焦距f为31毫米。

当人们仅用一块凸透镜作物镜进行观察时，望远镜里所看到的物体都带着各种颜色，看起来很不清楚，这种毛病就是人们常说的“色差”。这是由于玻璃对不同色光的折射率不同，所以物体通过透镜所成的像的边缘往往带有颜色。对于“色差”的毛病，若用一个单片的透镜作物镜时，根本就无法消除，只有至少是两种不同性质的光学玻璃（制造仪器用的高级玻璃，具有良好的光学性能）制成的透镜叠合而成的消色差透镜，才能够消除色差。假如你想制作一架性能良好的折射望远镜，就得要两种光学玻璃的透镜。如果你想制作一架最简单的折射天文望远镜，最方便的物镜可采用100度（或在75和150度之间）的老花镜镜片，其焦距是1米左右。在购买这种眼镜片时要注意挑选加工技术较高的。此外，也可选用照相机用的近摄附加镜头（选购焦距1米左右的），其质量比眼镜片好

得多；还可采用一般幻灯机用的长焦距镜头（有焦距 500 毫米左右的），把其口径用光栏减小一些之后也可使用。

简易折射式望远镜的制作

选择物镜和目镜　如前所述，物镜可以选用焦距为 1 米左右的凸透镜，也可以采用约 100 度的老花镜片。在选择物镜用的镜片时，可按下面的简便方法检定其成像质量。

首先把透镜对向远处某一目标如树木、电线杆等。用眼睛在离透镜焦点之后约 30 厘米处向镜头观看，就可以看到在焦平面上物体的倒像。当你的头部左右移动时，物像就在透镜范围内作相反方向移动。如果物像移到透镜边缘时产生显著的弯曲，就表明该镜片的像差较大。有的透镜像有不规则弯曲，移动时有跳跃等，这说明镜片很不均匀或镜头表面加工质量很差。如果只有边缘稍有弯曲，那么在镜片上加一个光栏把对成像有影响的边缘部分遮去便能使用。

望远镜的目镜可选用焦距是 30—50 毫米的凸透镜，也可用修理钟表常用的放大镜（其放大倍数约 5—8 倍）代替。如有可能，再买一个 10 倍小放大镜和目镜对着太阳，在镜片的另一侧放上毛玻璃或白纸屏，前后移动白纸屏或毛

玻璃找到成像最清晰的位置，然后用尺量出镜片到白纸屏的距离，这个距离即镜片的焦距，镜筒的长度近似地等于物镜和目镜的焦距之和。

制作镜筒　材料可用黄板（即“马粪纸”），粘合剂可用乳胶或木工胶。为了适应不同人眼睛的视力，镜筒要有一定的伸缩距离。物镜筒的长度约比物镜的焦距，筒直径约等于物镜的直径。目镜筒的长度约比物镜的焦距长60—80毫米，筒的直径约等于目镜的直径，注意要使筒的外径等于物镜筒的内径，使得目镜筒既能正好插入物镜筒内，又能相互贴得较紧，并且便于前后调节焦距。

制作镜筒时，先把纸板裁成宽度大致和镜筒直径相近的条子。找来一根长度稍长于物镜焦距、直径约等于物镜直径的物体（如硬质塑料管、日光灯管或铁管等）作芯柱。为了消除杂散反光，望远镜筒的内壁要涂成黑色，可用墨汁加上一些胶和石膏粉涂在第一条黄纸板条上。一圈紧挨一圈地粘紧，既不要有间隙，也不能重叠。在第一条纸的一端先剪成适当长度的斜口，然后卷紧在芯柱上，其余纸条依次接上，最后一条纸板末端也应剪成适当长度的斜口。镜筒两端和纸条交接处，要用内面涂上粘合剂的牛皮

纸固定，然后再在第一层镜筒的外面和第二层纸条的内面涂上粘合剂，用相同的办法，但以相反的方向缠绕粘住。第三层的卷绕方向应和第二层反向。最后在镜筒外面裱糊上一层牛皮纸稍待干燥后就应把芯柱抽出，否则最后难以抽出芯柱，粘好的镜筒应竖直放在室内阴干，不要在阳光下曝晒，以免发生弯曲变形。镜筒完全干透以后，可用锋利的刀子截去不需要的长出部分。目镜镜筒的制作方法和物镜镜筒的制作方法基本相同，制作时要注意前面提到过的目镜镜筒的外径要等于物镜镜筒的内径，这可通过裱糊牛皮纸逐渐地逼近所需的外径尺寸。

安装镜片　安装时注意目镜镜片凸面要向着镜筒内，而物镜镜片的凹面则向外。要根据镜片大小和镜筒的情况采取不同的固定方法。为使镜片稳稳地固定在镜筒中，一般要附加镜片套筒。为了防止目镜筒整个儿地滑进物镜筒里，应在目镜筒末端外面增加一小段凸圈。安装镜片最为关键的是使物镜和目镜的主光轴都落在镜筒的中心线上。

望远镜的成像质量要通过实际观测天体才能够断定。当调焦到最好位置时，星像应当是一个对称的橙黄色的小点，周围有兰紫色的光晕。

若星像是模糊的团，说明镜片的球差很大，这时必须用光栏缩小物镜的口径，直到成像较满意为止，如果口径缩小到2厘米以下成像仍不好，说明此物镜质量太差，不能使用。若发现星像不是一个对称的小点或带有一个小尾巴，多数情况下是镜片装得不正，但有时也可能因镜片玻璃不均匀或加工质量不好所致。

简易望远镜的支架应很稳固，并能使望远镜在水平和竖直两个方向转动，一般可以采用木制或金属三脚架。支架应架在望远镜的重心处。用这种简易天文望远镜可以观测月亮的表面、木星的卫星、金星的月牙形位相、木星的光环，也可分解一些明亮的双星等。

牛顿式反射望远镜的制作

这种望远镜的特点是光线射在凹面镜（即物镜）上反射后聚集成像。其光学部分主要由一个物镜、一个平面镜和一个目镜组成。光线只是在物镜片的表面上反射，并不需要穿过透镜，故不必采用光学玻璃。此类望远镜的最大优点是没有色差。牛顿式反射望远镜，是最简单的反式望远镜，对大多数业余天文望远镜制作者来说成功的把握比较大

磨制物镜的材料和工具的准备

玻璃　磨制反射望远镜的物镜，需要两块同样大小的圆形玻璃，一块作为要磨的镜面，即作物镜用，另一块作为磨制镜面时的工具用，称为工具玻璃。玻璃选择没有气泡的、比较厚的普通玻璃即可，物镜玻璃的厚度就是镜面直径的1/6—1/8左右。工具玻璃的厚度可以薄一点，但要求是镜面直径的1/8—1/15左右，而镜面玻璃不能太薄的原因在于防止变形。一般若能买到约10毫米厚的硬质玻璃圆是比较理想的。据有关专家的经验，若镜面的焦距取100厘米，可以用普通6毫米厚的平板玻璃来做镜坯，只要在细磨、抛光以及安装使用中不让它受到太大的压力，也能制成很好的镜面。购买时，可请商店的人员按所需的镜面尺寸代为加工成圆形，并请他们把边缘磨齐。

磨料　磨制镜面过程分为粗磨、细磨和抛光三个阶段。粗磨时用硬度高、磨削速度快的磨料，如80号到100号的绿色（或黑色）炭化硅砂，需1000克左右。用普通建筑用的黄砂也可，但因黄砂硬度比金刚砂差，磨的时间较长。细磨时用至少三种不同粒度的砂，如180号、280号和303号（或W20）金刚砂各150克左右。一

般细磨常用的是刚玉砂，它磨出的表面比较细腻，利于抛光。据有经验的磨制者提出，细磨时使用120～150号、180号、240号～280号金刚砂各120克，氧化铝M_{302}、M_{304}、M_{305}，抛光时使用309号红粉（氧化铁）约100克左右，也可使用白色的氧化铈。

沥青　（亦称柏油）抛光时需用沥青约500克，冬天用60°的（3号）沥青，夏天用90°的（5号）沥青。另外再准备一些松香和松节油，以调节沥青的硬度。

工作台　用木料制作一个结实的三脚架式的工作台，因操作时绕着它转，所以，工作台一定要稳定。

其他　准备几块清洁、吸水力强、不易掉毛的布（擦镜片用）；水盆；化沥青的小锅、小炉子和刻柏油用的小刀。

磨制球面镜的过程

粗磨　粗磨的要求是把物镜片的圆平面磨成所需要的粗糙球面。在磨球面之前，首先确定打算磨一个曲度多大的球面镜。球面镜曲度的大小决定透镜的焦距：焦距越短球面镜凹下去的曲度越大；焦距越长，球面镜的曲度越小。在粗磨时要用一块曲度型板来检查镜面的曲度是否

合适。此型板可用坚实的卡片纸制作，它的一边绘成曲率半径为镜面焦距两倍的圆弧，另一边用一条薄铁皮夹起来，以便保持平直。可参照模型把木条一端钉在床板上，用手握住木条刀片，沿绘好的弧线划几次，即可将卡片纸切开，而且是比较准确的圆弧。凸型板用于检查镜面，凹型板用于检查工具玻璃。

在玻璃镜片上磨球面形的凹面的方法是将它在另一块相同尺寸的玻璃（工具玻璃）上推拉，两者之间须铺上金刚砂和水，经过一定时间的磨制，上面的一块（物镜片）会磨成凹形，下面的则磨成凸面。磨制物镜的方法是镜片在工具玻璃上推拉的总距离即磨程，应是所磨镜面直径的 1/3，比如一块 15 厘米直径的镜面磨程应为 5 厘米，在粗磨时，可使磨程大一些，每次可使镜片突出工具玻璃约一半，磨出凹形后可渐渐减小磨程。注意，在细磨和抛光时一定要保持在 1/3 磨程之内。

磨制时推和拉的压力要相等，否则不易得到均匀的球面形。粗磨、细磨和抛光时的压力不同，要掌握粗磨时压力相对较大，抛光时压力应最轻。磨时不可像木工拉锯那样地用大力推而小力拉。压力过大会使玻璃边缘崩碎，这需要在

实践中体会。此外，磨镜片的速度最高不应超出每分钟56个来回，较理想的速度是每分钟约50个来回。为使镜片磨均匀，它必须在工具玻璃上转动，大约每10个来回转动一个小角度（约30°），同时为使工具玻璃也保持球面形，磨制者必须环绕工作台转动。在赤手掌握镜片工作时，手的温度足以影响玻璃的形状，使之局部膨胀，所以在转动时，人应随时改变双手在镜背上的位置，使手上的热量能比较平均地传开。更好的办法是带一副橡胶手套。

第一种磨制法是物镜镜面正对着工具玻璃的中心推拉，叫做径动；第二种是物镜面沿工具玻璃的弦推拉，叫做弦动；第三种磨制法是物镜镜面绕着工具玻璃的中心作椭圆运动，叫做圆动，粗磨时要多用弦动，因为弦动磨得比较快。在三种磨法中又有不同的磨程。每次径动磨程稍大于半径；弦动磨程稍大于半径的1/3。在椭圆运动中，镜片的中心不能超出工具玻璃。磨制时水的多少是以不因水少砂多而使砂子容易从边上滚下，又不因水多砂少致使水容易从边上流下为合适。磨时砂子要不断换新的，加砂以前应把镜面上工具玻璃用水洗干净。

一般粗磨四五个小时以后，就应经常检查

镜面的曲度是否合乎要求。检查的方法有二：一是用板检查，先将镜面上的水擦干，将型板放在镜面直径线上，观看它们是否吻合。型板是标准的圆弧状，可用厚纸板自制。

二是日光检验法。利用太阳光平行入射到粗磨后的镜面上，并在焦点处形成太阳像，由此可直接用太阳光量出物镜的焦距。首先在镜面上洒些清水，使其能反射阳光，趁着水未流干之前，把镜面对着太阳，让阳光投射到镜面后再反射到一张硬板纸或一本书上。你可手握硬板纸或书在其前后移动。随着这种距离的调整，纸板上太阳像的大小有所变化，选择太阳像（如斑点）最小、最圆、边缘最清楚为宜，由此确定是否结束粗磨。若是焦距太长，表明磨得还不够。若是焦距太短，表明磨过了头，应将物镜与模具玻璃颠倒一下再磨，即把物镜放在下面研磨，焦距便会变长。有经验者指出，磨一块直径15厘米、焦距是它直径的10倍的镜面，用阳光检查后焦距在170厘米左右时，就可以过渡到细磨了。

细磨 经此工序清除镜面砂痕，磨成准确的球面。在转入细磨之前，必须作一番细心的精洁打扫，把物镜面和工具玻璃（取下工作台）放在

水盆里洗刷干净，将工作台和其他有可能沾存砂子的各用具细心洗刷，更换干净的工作服，注意洗净手指甲缝中及头发里的砂泥。如若不然有一粒粗砂再落到镜面和工具玻璃之间都有可能划伤镜面，或给细磨带来隐患。

细磨的方法大多用前面提到的径动法，磨程约为镜面直径的1/3—1/4，施加的压力要尽量均匀，还应注意勿使镜面和工具玻璃受到剧烈的温度变化。整个细磨过程要使用不同粒度的砂子，一般常用240号、280号、303号（W20）或304号（W10）等三种砂来逐步提高表面的细腻程度。随着磨制的进程，用砂要一级比一级细。每当镜面上看不出上一级砂痕时，就可换砂。一般每一级砂需加几次才能把上级砂痕磨掉。随砂粒的变小，加砂量也要相应地减少。在303号以后为防止细砂中夹有粗砂，可把砂用水洗过。洗过的砂呈糊状，加砂时可用一个滴眼药水用的橡皮头吸管把砂滴到工具玻璃上，用手指肚把工具玻璃上的砂浆摸匀，若混入粗砂可凭直觉挑出。加砂后磨过一小段时间若觉得推动费力，并且在工具玻璃边缘出现因缺砂浆而干涸的现象时，应加新砂。这时应把镜面及工具玻璃等洗净揩干。磨制工作是细活儿，为

了获得成功应耐心勿躁，严格掌握好每次磨程。

细磨过程中要经常检查前一号砂的磨痕是否已完全磨去，检查时要把镜面对着光亮处，如窗口或电灯等。在换下一号砂之前必须检查镜面的曲度是否正确，方法仍可用前面粗磨时的利用太阳光测量出焦距的方法。如果赶上天阴，可以用手电筒光测量镜面的曲率半径和焦距。其方法是，在洗净的镜面上浇一些清水，然后把它竖立在一个木制镜架上，让水自然流下，使镜面上有一层均匀的水膜，这时镜面就能反射光线了。把手电筒的聚光罩取下，在距镜面约为焦距两倍远处放一块毛玻璃或白纸，手电筒小灯泡的灯丝发出的光会反射在毛玻璃上。小灯泡靠毛玻璃一侧的直射光要有黑纸挡住。先上、下、左、右移动光源，使反射光束移动紧靠小灯泡旁边，然后将毛玻璃和光源同时向前后移动，找到反射光束聚焦最小的位置，这时从镜面到光源及毛玻璃的距离就是镜面的曲率半径，它是焦距长度的两倍，（注意：毛玻璃与小灯泡要对齐，即毛玻璃到镜面的距离和电灯泡到镜面的距离相等）。

检查后若发现焦距比原来要求的短了，说明镜面的弯曲程度深了，这时应对镜面进行修

改，一般把磨程缩短为 1/4 或 1/5；若发现中心过深时，就把工具玻璃与镜面调过来磨几下，磨好后一定要用同级砂以 1/3 磨程把镜面与工作玻璃恢复原状。细心多磨一些时间，直到合适为止。

细磨时要注意避免镜面和工具玻璃粘牢的现象。镜面粘牢的主要原因是它在某一个位置时，因中心渐深，不能和工具玻璃保持全面接触，造成中心的真空，以致大气压使两片玻璃粘牢。如果出现这种情况，切不可用刀口或任何东西去撬，而应设法把它滑下来，如可试用几滴酒精滴在夹缝内，或把它们全部浸入与室温相同的水中，过一夜再尝试一下。

细磨的最后阶段至少需用 303 号刚玉砂，如果能再用 303 $\frac{1}{2}$ 号或 304 号砂研磨一下，就可大大缩短抛光的时间。这时的镜面应该呈半透明状，如果经过检查测量确认成像清楚，焦距合适就可以结束细磨。用细磨过的镜面，可以清楚地阅读书报上的小字。待做好清洁打扫工作后，便可进入抛光阶段。据有经验者说，初学者最易犯的错误是细磨工夫不够。有人磨制 21 厘米的镜面大约用去十多个小时。

细磨结束时应保证面形的准确和细度均

匀，除了用高倍放大镜或显微镜可以检查表面粗细程度外，最为简便的方法是采用反射光线的方法来作检查。当我们把镜面放在眼睛和灯泡之间，先将镜面放在一定位置，稍移动镜面就能较容易地看到反射的灯丝像；然后慢慢降低镜面位置，反射的灯丝像就逐渐变暗变红，降到一定位置反射就消失了。镜面越细开始出现反射的角度就越大，通常在20度左右就能出现反射即说明镜面已磨得足够细了。如果镜面上出现一部分能反射而另一部分却不能反射即说明镜面粗细不均匀。

抛光这项工作的目的是把半透明镜面磨成一个完全透明的镜面。抛光时要用较软的沥青工具模子代替工具玻璃，所用的磨料是红粉。为此要动手制作沥青工具模子，可利用已经具有和镜面一样曲度（形状相反）的细磨工具玻璃改制而成。

制作沥青模子的过程如下，首先将沥青放在小锅内加热熔化。

抛光用沥青是一种沥青和松香的混合物，可向光学仪器厂购买，也可以自己配制。沥青本身有软硬的区别，自己配制时，要想获得硬度适中的沥青，夏季制作时应在沥青中加20%—

50%的松香，使沥青变硬些；在冬季则给沥青中加入少许松节油，使沥青变软。在制作沥青模子之前一定要过滤沥青，可用纱布绷在铁丝圈上作为过滤器。将熔化的液体沥青慢慢倒在过滤器上，然后可直接漏浇在用黄板纸围好的、预先烘热的原工具玻璃上，沥青厚度约5毫米，浇上沥青模子之后，马上给镜面涂上肥皂水，待到沥青将硬的时候，拆去黄板纸，把镜面压上去并来回推动镜面，使镜面与沥青相互吻合，如果压时沥青已经变硬而不能吻合，应将沥青面重新烘热后再压上去。沥青与镜面吻合后把边缘的沥青用刀片切去，取下镜面，再用刀片在沥青上刻出宽0.3—0.4厘米的槽，槽距约2厘米见方，冬天可窄些，夏天宽一些。

槽刻好以后，把沥青模子放在热水中烫软，把镜面涂上肥皂水压在模子上来回推动，使镜面与沥青模子完全吻合，把镜面压在模子上面数小时（夏天约5小时，冬天约10小时）后才能使用。有的行家在压合前，在镜面和模子上涂上略浓些的红粉液，让它们压合在一起，并在镜背面加上一些重物放置数小时。这样，抛光工具算是制作成了。

抛光前仍勿忘记做好清洁工作，尽量除去

原先的一切砂粉，不能有一粒砂粉混入抛光用的红粉里，否则可能会在镜面上划出纹道，在镀银后会很明显。抛光时所用红粉应先放入一个瓶子，加些水使其成为稀糊状，红粉与水的比例是1：7。然后用吸管将其滴在工具模子上，用不同的磨程和不同的磨法慢慢地磨。其方法与前面所述细磨方法相似，但大多用径动或椭圆动，速度要慢。为了保持沥青模子与镜面吻合得很好，人在休息前一定要把镜面在模子上压好，但时间不能超过两天。抛光的时间大约要用10个小时，甚至更长一些。在此过程中，镜面总是处在不断变化中，所以要不断地检验和修改。修改镜面的工作有时需要反复进行，要花去不少时间（往往需要几天甚至几个星期）。

我们在初检验时往往发现所磨成的镜不是一个规矩的球面，或者说可能发现的毛病不少。我国天文仪器专家紫金山天文台的杨世杰先生说过："实际上一个镜面从开始到结束都不出任何缺陷的情况几乎是不存在的。整个抛光过程就是在不断地与出现的毛病作斗争，一直坚持到全部抛光为止。"

下面分别介绍常见的一些镜面毛病。

①中央凸起。当刀锋从右边向左移进时，一

开始中央偏右的部分就先暗了。接着是左边、外边大部分变暗，中央偏左的部分最后才暗下来。造成中央凸起的原因可能是工具中央较低，以及抛光时长期用短动程磨制的结果。改正此毛病只需加长抛光的动程，即拉长（不同的长度）磨几下即可；或者采用偏心的动程。注意不要操之过急，防止矫枉过正变成中心凹陷。

②中央低凹。当刀锋从右边慢慢移进时，中央偏左的部分先暗了；接着右边、外边大部分才暗下来，而中央偏左的一部分最后才变暗。中央低凹的原因可能是工具中央高些，或者抛光细磨时动程太长。修改时将抛光工具中央与镜面上凹区相对应部分用小刀刮去一些，用稍长的动程抛光。修改后的镜面曲率半径将会缩短一些。

③边缘高起或低下。当刀口进入焦点以内，如果看到刀锋对面边缘先是黑的，说明边缘高了；如果在刀口同一边先黑，说明边缘低了，这个现象叫做“倒边”。“倒边”的原因可能是由于抛光动作太快，只要把抛光工具边上的槽刻宽些，慢慢地磨即可解决问题。另一解决“倒边”的办法是使用时放上一个光栏把倒边部分挡去，使望远镜的口径变小一些。至于边缘高的原

因可能是工具略小了点，或是边缘接触得不好，只要把镜面放在下边，工具放在上面磨一磨就好了。

④复杂的面形误差。这种毛病大都是工具符合不好所造成的。可采用均匀的抛光动程加以改正。每工作一段时间就把工具加热压合一下再继续抛光，使其趋向均匀或向单纯的缺陷方向发展，然后针对性地采取修刮或改变动程来进行修正。有时在阴影检验中发现镜面粗糙，有些像桔皮或饼干表面模样，这是由于细磨结束时的细度不够，应换用硬度较大的沥青重做抛光工具。注意不要在工具还未冷却时符合不好的情况下就用力进行抛光。

一般说来，抛光和修改工作应持续到镜面的面形正确为止。由于阴影检验的灵敏度很高，往往经过反复努力也难做到在阴影图中看到一点毛病。实际上作为一般业余观测应用也许精度已足够了。为此，可以用高倍的放大镜（目镜）来观测一下刀口处的小孔或电珠灯丝的像。若成像清晰，像四周没有杂乱的光晕，就说明镜面精度已足够了。应当说，此时的镜面已经符合预期要求的球面，光洁度达到了十分光亮的程度。下面的工作就是镜面镀银了。

物镜镜面镀膜 经过检验合格的镜面必须要在其表面上镀上一层银或铝，这可以大大增强镜面的反射能力。因为即使抛得很光亮的镜面，仅能有4%的反光本领，镀银或镀铝后，反射光线明显增加达80%—90%之多，考虑到镀银或镀铝要有真空镀膜机设备才行，工艺技术也较复杂，最好能请有关单位帮助解决。这件事情在目前情况下并不难解决，因为现代真空镀膜应用比较普遍，一般制镜厂、汽车配件厂（镀制汽车灯反光罩）等，均普遍使用真空镀膜机。反光铝膜具有很大优点，新镀的铝膜，在可见光范围内，其反射率可达到90%左右。必须注意的是，采用真空镀铝膜时，影响铝膜质量的因素，除了与真空罩中的真空度、清洁度、蒸发皿以及用作蒸镀的铝质纯度等有关以外，还必须将零件表面作认真的清洁。镜片表面的清洁，可由天文爱好者自己动手处理。

在送交有关单位请其代为镀铝时，应注意在搬运过程中很好地保护镜面的反射膜层不受损伤，自己动手制作一个专用的镜片木盒是必要的。木盒里要有泡沫塑料或橡皮块，使镜片不能在盒中活动，镜面要用柔软的薄纸包装好，反射面向下。为了保险起见，还应将木制镜片盒套

装在另一个更大一点的木盒里，并在四周用减震的填料将镜盒塞紧固定。对于小平面镜亦应用柔软光洁的纸包装好，垫上些棉花装在盒子里。

镀好铝膜的镜面在使用中一定要注意维护保养。在镜面不使用的时候，应保存在干燥、灰尘少的地方，特别是防止各种流体和油脂对它的污染。不要用手或硬物体接触反射膜，否则会留下印迹或划痕，增加了散射光。时间久了，若发现铝膜上灰尘积得太多或弄上油渍等，可先用清水冲击浮尘和水溶物，用棉絮轻轻地拖一下镜面，不可用力擦；去除尘粒后，再另取一个棉球浸上碱性低的肥皂（或香皂）或者中性洗涤剂溶液轻轻地擦洗整个镜面，对油污的地方要多洗几遍；然后把镜面倾斜放置，由上逐渐向下用清水冲洗。如果铝模保存得比较完好，干净的铝膜不会有许多水附着在上面，而是像荷叶上的水珠那样滚走。若是铝膜上有破损或污点，水滴会停在该处，必要时用挤干的棉花把剩下的水滴吸走。如果铝膜损坏严重只有重新镀铝。